

新纪元高等政法院校系列教材

系统科学方法 概论

常绍舜
编著

中国政法大学
出版社





新 新 元

新纪元高等政法院校系列教材

项目负责 杜娟
文稿编辑 刘明
封面设计 沈颢

ISBN 7-5620-2634-3



9 787562 026341 >

ISBN 7-5620-2634-3/D · 2594

定价: 16.00元

新纪元高等政法院校系列教材

系统科学方法概论

中国政法大学教材编审委员会 审定

常绍舜 编著

中国政法大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

系统科学方法概论/常绍舜编著. —北京:中国政法大学出版社, 2004

ISBN 7-5620-2634-3

I.系... II.常... III.系统科学-科学方法论-高等学校-教材 IV.N941

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 090962 号

出版发行 中国政法大学出版社

经 销 全国各地新华书店

承 印 固安华明印刷厂

787×960 16 开本 14.75 印张 270 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 7-5620-2634-3/D·2594

定价:16.00 元

社 址 北京市海淀区西土城路 25 号

邮 编 100088

电 话 (010)62229563(发行部) 62229278(总编室) 62229803(邮购部)

电子信箱 zf5620@263.net

网 址 <http://www.cuplpress.com>(网络实名:中国政法大学出版社)

声 明 1. 版权所有, 侵权必究。

2. 如有缺页、倒装问题, 由本社发行科负责退换。

本社法律顾问 北京地平线律师事务所

中国政法大学教材编审委员会

主 任：朱 勇

副主任：陈桂明 李传敢

委 员：（按姓氏笔画排序）

马丽娜 乐国安 杨 阳 朱 勇

张西咸 张丽英 沙丽金 李传敢

陈桂明 姚广宜 费安玲 曹义孙

韩永宁 焦洪昌

出版说明

为了深入推进教学改革,提高教学质量,中国政法大学教材编审委员会组织中国政法大学长期从事法学教育的骨干教师,精心编写了这套新纪元高等政法院校系列教材。

本套教材力求适应高等法学教育教学改革的新要求。当前的法学教学,在教学目标上,重视由知识传授向能力培养转变;在教学方法上,逐步由传统课堂讲授向案例教学、实践教学等灵活多样的教学方式转变;在教学手段上,尽量利用多媒体等现代化教学手段提高教学水平;教学模式由过去单一的课堂教学为中心转变为课内与课外相结合、学生主体、师生互动的全方位学习模式。本套教材正是适应法学教育的这些新趋势编写的。

本套教材在内容上注意吸收国内外法学教育、科研的最新成果,面向世界、面向未来、面向我国法治建设的实际,注重知识性、理论性和实践性的统一。具体地讲,本套教材重视学科知识的系统性;重视提出问题、分析问题和解决问题的方法;重视收集典型的案例、整理资料索引、编写多种习题。所有这些努力将既有利于激发学生自主学习、提高学生的综合素质与创新能力,又有利于学生学习和教师利用新的教学手段、组织多种形式教学。

本套教材编写体例上继承了传统教材的优点,做到科学、规范、

统一，并力求有所创新，以适应 21 世纪高等教育改革发展的全新要求。

参与编写本套教材的人员，或为在法学界有重要影响的学术前辈，或为法学研究中崭露头角的学术新人，他们均是具有丰富教学经验的一线教师，深谙法学教育教学的特点与规律。本套教材是他们在法学教学和研究领域长期钻研的结晶。

本套教材出版虽经长期酝酿、反复推敲，但疏漏之处在所难免，希望行家和读者不吝指正。

中国政法大学教材编审委员会

2004 年 6 月

写作说明

本书是在我多年（从1985年至今）给政治、法律、管理专业本科生以及逻辑学专业研究生讲授“系统科学方法论”课的基础上写作而成的，其本意是给对系统科学感兴趣的初学者提供一个基本的指导，属于入门性的读物。为了增强可读性，本书基本采取简明阐述原理，重在举例说明的方式来写作。只要具备中学文化水平和一定的实践知识，读者当不会发生阅读和理解上的困难，并会感到对个人的学习和工作有不少启发和裨益，如果在学习和工作实践中应用得好，甚至会收到事半功倍的效果。

由于本书属于介绍性的著作，因而笔者不得不参阅大量的原著（译著）以及其他比较权威的阐释性著作，引用其部分内容，其目的在于保证知识的准确性。但是，本书也并非只是一种传声筒：由于系统科学本身还处在发展过程中，无论其内容还是体系，抑或应用方面都还有很多不完善，不成熟之处，因而笔者在写作过程中也就免不了在认为可以发展的地方加上自己的见解，而且，这样的地方不算少，其中尤以系统方法和信息方法两章为多。当然，笔者在这样做时，也尽量考虑到了符合系统科学创始人的基本思想。其实，对任何一门科学知识的介绍过程都必然包含着创新过程，对于处在发展中的科学知识的介绍就更应如此。读者在阅读本书时，也应对之采取辩证的态度：一方面要学习和理解，并在实践中加以遵循，另一方面也要从自己的实际经验出发，注意对其进行修正、丰富和发展，而千万不要把它当作什么教条。

系统科学博大精深，其资料浩如烟海，由于本人能力有限，研习时间也短，本书的缺点和错误肯定是难免的。我衷心希望读者在察觉后及时给我指出来，倘如此，我将不胜感激之至。

中国政法大学 人文学院

常绍舜

2004年6月

目 录

绪论	(1)
第一节 什么是系统科学	(1)
第二节 系统科学产生的社会历史条件	(6)
第三节 系统科学的方法论功能	(16)
第一章 系统方法	(21)
第一节 系统思想发展史	(21)
第二节 什么是系统	(28)
第三节 系统内部的基本关系	(41)
第四节 系统规律	(49)
第五节 系统方法	(51)
第二章 系统工程方法	(62)
第一节 什么是系统工程	(62)
第二节 系统工程发展史	(66)
第三节 系统工程方法之一：霍尔三维结构法	(72)
第四节 系统工程方法之二：计划协调技术 (PERT)	(94)
第五节 系统工程方法的基本原则	(106)
第三章 信息方法	(109)
第一节 信息科学简史	(109)
第二节 什么是信息和信息量	(116)
第三节 信息属性及规律	(123)
第四节 信息方法的基础：信息技术	(132)
第五节 信息方法之一：利用信息认识事物的方法	(144)
第六节 信息方法之二：利用信息改造事物的方法	(149)

第四章 控制方法	(154)
第一节 控制论史	(154)
第二节 什么是控制和控制系统	(163)
第三节 控制方式	(169)
第四节 控制系统的基本属性	(176)
第五节 控制过程	(186)
第六节 控制论的研究方法	(191)
第五章 自组织系统方法	(198)
第一节 自组织系统理论的历史发展	(198)
第二节 耗散结构理论简介	(205)
第三节 协同学简介	(211)
第四节 突变论简介	(216)
第五节 自组织系统方法概述	(220)
参考书目	(225)

绪 论

第一节 什么是系统科学

20 世纪已经过去三年多了, 但 20 世纪发生的一些大事却至今令人难以忘怀: 在经济上, 人类已进入自动化大生产阶段; 在政治上, 则诞生了社会主义制度; 在科学上, 人类已经登上了月球。我们中国的变化也不小: 1911 年建立了中华民国, 1949 年又成立了中华人民共和国, 1979 年我们又进入了社会主义现代化建设的新时代。系统科学则是在 20 世纪科学百花园中开出的一朵奇葩。

那么, 什么是系统科学? 它有哪些基本特征? 它在今天的发展状况又如何呢?

一、系统科学的内容与特征

(一) 系统科学是以系统为研究对象的学科群

系统科学, 顾名思义, 即以系统为研究对象的科学。但由于研究角度的不同, 它又分为三个方面的内容:

系统论。主要研究的对象是系统的本质、特征、变化规律以及系统方法等问题。主要分支学科包括: 普通系统论 (一般系统论), 系统工程学, 系统动力学, 自组织系统理论, 复杂系统理论等。系统论是系统科学的核心。

信息论。主要以传递于系统内部或系统之间的信息的本质、构成、传递、发生规律及信息方法为研究对象。包括狭义信息理论与广义信息论两部分内容。

控制论。主要研究的对象是系统控制过程的实质、机制及控制方法等问题。目前已形成工程控制论、生物控制论、社会控制论、人工智能四大分支学科。

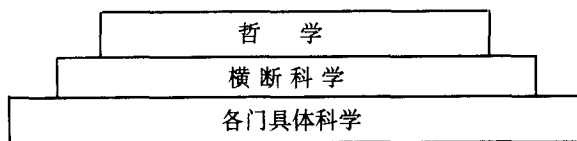
总之，系统科学发展到今天，已经不是一个单纯的学科，而是一个以系统论为核心，以信息论和控制论为支柱，具有不同层次内容的复杂科学体系了。

（二）系统科学是一门横断科学

传统知识体系主要是由两个层次构成的。第一层次是哲学。这是一门关于整个世界最普遍性问题的知识，其主要特点是抽象程度最高，适用范围最广。例如物质就是一个哲学范畴，它概括了一切物质形态的共性——客观实在性。对立统一规律也是这样，没有什么事物是不受其支配的，我们无论认识什么对象，解决什么问题，都要坚持矛盾观点和矛盾分析方法。第二个层次是具体科学，这是关于客观世界各个领域内特殊性问题的知识，其特点是抽象程度比较低，适用范围也比较小，例如，物理学原理反映的仅仅是物理现象的本质及规律，物理方法也只适用于认识和解决物理问题，对于其他科学部门而言，物理学观点和方法就不适用了。^{〔1〕}其他自然科学和社会科学的知识也是这样。

系统科学则是介于哲学和具体科学之间的一门知识。一方面，系统科学知识的抽象程度比哲学要低，其方法论的适用范围也较小；另一方面，系统科学知识的抽象程度比具体科学知识高，适用范围也更广些。例如信息联系概念就是一个比较具体的概念，它不像哲学上所讲的联系概念那么抽象、那么无所不包，但信息联系概念又反映了生物界和人类社会内部联系的共性，因而比生物科学和社会科学中具体的信息联系概念（如动物之间的叫声联系和人与人之间的语言联系等）的适用性又广的多。正因为系统科学知识比具体科学知识的适用面要广大些，它横跨几个具体学科，所以人们又把它称为“横断科学”，^{〔2〕}或叫“跨学科”的知识，系统科学所体现的方法论也被人们称为一般科学方法论。

系统科学在人类知识体系中的地位可用图形表示为：



〔1〕 社会科学研究过程中，有些科学方法可以相互移植，但要改变形式。

〔2〕 数学以及新兴学科如可拓学等，亦属于横断科学范畴。

（三）系统科学是一门应用科学

现代科学可以分为两大类：其一为理论科学，其二为应用科学。系统科学虽然也有自己的理论部分，但从本质上讲，它属于应用科学。这是因为：（1）它是适应 20 世纪自然科学发展趋势而诞生的。（2）系统科学的主体是由应用部分即工程技术构成的，这些工程技术包括系统工程技术、信息技术、控制技术以及建立自组织系统的技术等。（3）系统科学不仅注重应用自身的理论和方法去解决实践中的各种问题，而且注重应用哲学和众多具体科学知识去解决实践中的问题。（4）系统科学的荣誉也主要是在应用实践中获得的。诸如美国研制第一颗原子弹的曼哈顿计划的实现，阿波罗 11 号飞船登月计划的实施，以及人们在改造生态环境方面所取得的胜利等都是成功应用系统科学理论与技术的结果，正是这些令世人瞩目的实践成果的取得，为系统科学争得了极高的荣誉，并使其影响扩展到了全世界。

（四）系统科学带有极强的方法论性质

任何一门完整的科学知识都是由两部分构成的：一是关于研究对象的本质，特征及其规律的知识，或叫理论知识；二是关于认识和改造这一对象的方法论知识。系统科学是这两方面的统一，但是其方法论特征更为明显和突出。实际上，系统科学之所以深受人们重视，之所以在实际应用中产生巨大效益，归根结底是由于其方法的先进性决定的。有人说，系统科学的诞生是“20 世纪科学思维方式上的一次伟大革命”。还有人说，“系统科学是人类文明的启明星”。这都是对系统科学方法论意义的评价。

系统科学方法的内容很多，就大的方面而言，主要有系统方法、信息方法和系统控制方法三类，而在每一类方法下面，又包括众多的具体方法。例如在系统方法下面，又包括一般系统方法，系统工程方法，自组织系统方法、复杂系统方法等，在一般系统方法中又可分为整体性方法、综合性方法、层次分析法、结构分析法、功能分析法、环境相关法等等。正因为系统科学带有极强的方法论性质，所以本书也就将其作为阐述的主要内容，并将书名定为《系统科学与方法概论》，希望读者在阅读本书时特别注意方法方面的内容，这是系统科学的精髓，也是本书的精髓。

二、系统科学的历史发展

系统科学的发展大致经历了四个时期：

1. 20 世纪 40—20 世纪 50 年代的形成时期。其主要表现为各种理论的提

出和体系的创立。例如，一般系统论创立于1945年，1957年美国密执安大学的古德（H·H·Goode）和麦克霍尔（R·E·Machol）又合著出版了《系统工程学》一书；信息论则诞生于1948年，并于1951年被正式确立为一门新兴学科；控制论诞生于1948年，1954年钱学森又创立了工程控制论这一重要分支，由于系统科学的理论与技术在第二次世界大战中发挥过重要作用，因而50年代曾在美国形成了一股系统科学热。

2. 20世纪60—20世纪70年代的发展时期。这一时期的主要任务是用已有的理论与技术解决三大实践中的问题，并在这一过程中使自己得到检验和发展。例如，20世纪60年代美国搞的阿波罗登月计划的胜利实施乃是成功地应用系统理论与技术的光辉范例，正是由于这一巨大成功，使系统科学热从美国扩展到了整个欧洲。这一时期在理论上也有不少新建树，如系统动力学便是20世纪60年代兴起的一门研究复杂系统问题的新学科，而自组织系统理论则是在20世纪60年代末发展起来的。

3. 20世纪80年代开始的普及时期。由于系统科学的应用给工业生产带来巨大效益，因而其影响也愈来愈广泛，以至于自80年代始系统科学又扩展到了全世界。这主要表现为：各国纷纷设立有关系统科学的研究机构，有关系统科学的国际会议频频召开，与会者日益增多（最近一次国际会议是国际系统科学学会第46届年会于2002年8月3日在中国上海举行，共计26个国家400余名专家学者出席大会），有关系统科学的文献资料也愈来愈多。此外，就系统科学本身而言，一方面，研究日益深入，分支愈益增加；另一方面，其他学科也纷纷引入系统科学观点和方法来解决问题，甚至哲学也不例外。现在可以这样说，谁要是不懂点儿系统科学的基本知识，那就很难读懂近年出版的学术著作，谁要是不善于运用系统科学观点和方法去认识和处理问题，那就很难在解释和解决诸如生态环境等问题方面取得进展。总之，谁不掌握系统科学的基本理论与方法，谁就会落在现代科学技术发展的后面。

我国是在20世纪70年代后期开始普及系统科学知识的，并很快在中华大地上形成了一股系统科学热。1978年9月，我国科技工作者提出了利用系统思想把运筹学和管理科学统一起来的见解，提出了系统工程是组织管理技术的思想，1979年6月，中国管理现代化研究会在天津召开了系统工程学术交流会；1979年7月，中国自动化学会在芜湖召开了系统工程学术讨论会；1979年10月中国科学院、教育部、社会科学院、一、二、三、四、五、六、七、八机部、总参、总后、军事科学院、军事学院、国防科工委和军兵种的150名代表，在北京举行了系统工程学术讨论会，国务院副总理耿飫、王震、总参副总长张爱萍、李达，以及各有关部门领导同志十余人出席了这次讨论会的开幕

式。这次会上我国 21 个著名科学家联合向中国科协倡议成立中国系统工程学会。在这前后,西安交通大学、清华大学、天津大学、华中工学院、上海交通大学,大连工学院、上海化工学院、上海机械学院、哈尔滨工业大学、北京工业学院、国防科技大学相继成立了系统工程的研究室、研究所或系;上海机械学院和国防科技大学还招收了系统工程专业的本科生。1980 年 2 月 26 日,中国科学院成立了系统科学研究所,同年 3 月,贝塔郎菲的重要论文“普通系统论的历史和现状”被王兴成由俄文译成中文发表。稍后,中央电视台、中央人民广播电台又相继举办了全国性的系统工程广播讲座,由钱学森等著名科学家播讲。^[1] 1981 年,北京“系统、信息、控制科学研究会”筹备会又举办了八期系统科学学习班,向 5600 多名科技人员,管理人员和领导干部作了普及。1982 年,华中工学院、大连工学院、西安交通大学和清华大学的自然辩证法教研室在北京共同发起召开了“系统论、信息论、控制论中的科学方法与哲学问题讨论会”,与会代表一千多人。我国著名科学家钱学森在会上作了“系统思想、系统科学和系统”的长篇报告,产生了广泛影响。此后,该四所院校又每隔一年在不同地点举办一次同类会议,推动了我国系统科学研究进入了高潮。与此同时,我国在工农业生产实践中也日益倡导以系统科学理论与技术为指导,并取得了一系列重要成果,如山西平朔煤矿建设就是成功运用系统工程技术的典型。目前,我国已不仅在工农业生产实践方面普遍推广使用系统科学技术,在体制改革、法制建设、文化教育等方面也都在倡导用系统科学方法解决问题,可以预言,随着系统科学理论与方法的日益普及和应用,我国社会主义现代化建设事业必将进一步稳定和持续地向前发展。

4. 20 世纪 90 年代末期以后向复杂系统的分析和综合方向发展阶段。国外有关复杂系统的研究早在 20 世纪 30 年代就开始了,美国学者考恩(George A. Cowan)认为,系统科学的历史本身就是复杂系统研究的发展史,因为系统本身就具有复杂性。20 世纪 80 年代,在美国新墨西哥州,洛斯阿拉莫斯国家实验室(这个实验室在第二次世界大战中汇聚了一批著名物理学家,以研制原子弹而闻名于世)的元老,不满足于当时进行跨学科研究的条件的局限性,于 1984 年在该实验室附近 34 英里的桑塔菲(santa fe)筹建了一个研究所,现在称“桑塔菲研究所”(santa fe institnte,简称 SFI),这被公认为研究复杂系统问题的权威机构,1999 年 4 月,美国《科学》(Science)杂志出版了“复杂系统”的专辑,两位编者在“超越还原论”的导言中。对所谓“复杂系统”作了描述:通过对一个系统的分量部分(子系统)性能的了解,不

[1] 中国科学普及部《系统工程普及讲座汇编》,1980 年印。

能对系统的性能做出完全的解释,这样的系统称为“复杂系统。”^{〔1〕}

从此,关于复杂系统研究日益受到国际学术界重视。2000年6月,我国自然科学基金委员会举办了一次以“复杂系统与复杂性科学”为主题的科学论坛,与会专家一致认为,目前科学发展正处在一个新的转折点,即复杂性科学的兴起,尽管目前它还处在萌芽状态,但它却是“21世纪的科学”,而系统科学方法论则是它的理论基础。2001年12月,在广州又召开了全国“复杂性与系统性科学研究会”成立大会暨学术研讨会,50余名专家学者到会并进行了学术交流。2002年8月3日,国际系统科学学会第46届年会在我国上海举行,会期三天。本届年会的主题是“新世纪、新思维——系统思维管理复杂性与变革”。会议议题有三个:(1)研究和探讨系统思维方法对解决当代社会经济复杂问题和热点问题的可行性。(2)概括总结系统科学理论研究的新成果,提出需要解决的新问题,创造系统思维的新方法。(3)推动系统科学在社会经济中的应用。由此可见,系统科学目前已发展到一个新阶段——以复杂系统为对象的阶段。

第二节 系统科学产生的社会历史条件

系统科学是于20世纪初期开始孕育,第二次世界大战后正式诞生并迅速发展起来的一门新兴科学。这种情况不是偶然的。恩格斯指出:“社会一旦有技术上的需要,这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进”。^{〔2〕}系统科学也是这样,它的诞生和发展是和20世纪以来社会实践的特点和科学技术发展需要的推动分不开的。

一、20世纪以来社会实践对象的复杂化推动了系统科学的诞生和发展

大家知道,人类对客观世界的认识和改造过程——社会实践过程,总是由简单到复杂这样不断发展的。一开始,人们总是先认识和改造比较简单的事物,解决比较简单的问题;后来,逐渐发展到认识和改造比较复杂的事物,解决比较复杂的问题。这种变化在20世纪主要表现在三个方面:

〔1〕 戴汝为:“系统科学与复杂性研究”,《全国“复杂性与系统科学哲学研究会”成立大会》论文集,2001年12月华南师范大学印。

〔2〕 《马克思恩格斯选集》,第4卷,人民出版社1995年版,第732页。

（一）社会生产实践方面

封建社会的生产都是建立在一家一户小生产的基础上的，生产过程十分简单。资本主义社会初期，虽然有了工厂，使用了大机器，但总的来说，工厂规模还不小，工艺过程也还比较简单。但到了20世纪初，随着资本主义由自由竞争发展到了垄断阶段，这种情况有了根本改变：其一是生产规模愈来愈大。如果说，过去的企业中一般只有几十个人，最多不过数百人利用几十台、数百台机器就可以从事生产的话，那么，帝国主义时代的企业则往往少则几千人，多则上万人，甚至几十万人，利用巨量生产资料进行生产了。其二是生产过程越来越复杂。以往的企业生产都是比较单一的，如采矿厂就是只管采矿，炼铁厂就是只管炼铁，内部过程比较简单。但到了帝国主义阶段，情况变了，这时出现了很多大的联合企业，在这些企业中，从原料生产到产品销售的各个过程都包括进去了，过程十分复杂。如一个大的钢铁联合企业就包括矿石开采、炼铁、炼钢、轧钢、成材、入库、销售等一系列过程在内；石油联合企业则包括勘探、开采、运输、提炼、销售等各个过程。由于上述两种情况，就使得对整个生产过程的宏观管理成为愈来愈重要的事情。因为管理跟不上，则企业规模愈大，生产过程愈复杂，也就愈易造成混乱。那么，如何管理？根据什么原则进行管理？这就为系统论的诞生提出了需要。因为上述过程实际上是一些系统运动过程，只有采用系统管理的方法才能达到目的。系统科学的重要分支——系统工程方法最初就是适应这种生产管理的需要而诞生的。

（二）社会政治实践方面

社会政治实践是社会实践的一个重要领域，在这方面，20世纪亦具有日益复杂化的特征。

先以战争而言：20世纪先后爆发过两次世界大战和多次大规模的地区冲突。这些战争无论在规模上还是在复杂性上都是空前的（第一次世界大战中有30个国家参战，卷入战争人口达15亿，第二次世界大战涉及欧亚非美四大洲许多国家，卷入战争的人口比第一次大战多一倍），要进行这样的战争，当然就需要有与之相适应的理论和方略才可，否则便无法引导战争取得胜利。所谓军事系统工程——运筹学正是适应这种需要而在二战中由英美等国的科学家建立起来的。此外，系统工程（Systems engineering）一词也是二战后出现的，系统工程思想则被认为是美国曼哈顿工程的一个总结。

国家管理也是如此。从宏观上说，国家管理过程实际上是统治阶级对被统治阶级实施统治的过程。而20世纪以来，国家管理的内容也同过去有了很大

不同。现在的国家机构不仅要管政治、经济，而且要管思想、文化、教育、工业，甚至计划生育也得考虑进去。而且在这些方面，不仅要注意国内情况，还要照顾到国际情况。正因如此，现在的国家机构比以往要复杂很多，人员也得多得多，否则，国家便难以正常运转。如果说，过去封建社会靠皇帝一人发号施令就可以对整个国家或社会进行管理的话，那么现在这种情况是绝对行不通的，因为一个人再英明也应付不了如此复杂的情况，所以必须实行集体决策的方式进行管理。

国家管理的复杂化也呼唤着与之相适应的理论的建立，而这种理论没有系统方法的指导是不行的。

(三) 科学技术方面

20 世纪以前，科学研究的对象总的说来还是比较简单的。所谓简单，主要是指其构成的要素比较少，结构也比较单一。以运动形式为例，20 世纪以前，科学研究的对象主要是机械运动、物理运动、化学运动三种形式。其中，机械运动最简单，只有作用力和反作用力两个要素，所以机械力学也发展得最早。物理运动就比较复杂一点，所以物理运动建立的时间也比较晚，直到 19 世纪才普遍发展起来。所谓物理运动也就是声、光、电、磁、热等形式的运动，相应的也就是声学、电学、热学等。化学运动更复杂一点儿，所以化学发展得更晚，如元素周期表直至 19 世纪末才由门捷列夫完善起来。

生命运动就更复杂了。首先，它的组成要素非常多，而且这些要素分成很多层次，结构也非常复杂。而且生命体还有一个特点，即不能把它拆开来一件一件地加以研究，因为拆下来的死的器官与活的器官是有根本区别的。也正因如此，直至 19 世纪末人类对生命现象的研究除达尔文进化论外一直未取得什么突出成果。到了 20 世纪初，研究生命现象的人愈来愈多了，其中有一个叫贝塔朗菲（美籍奥地利人）的科学家发现，生命体原来是由众多的要素所构成的一个大系统，其中单独把哪一部分拿出来，都不足以说明生命运动的本质，而只有把它们作为一个整体——系统来对待，才能正确揭示生命的运动过程。贝塔朗菲也正是在这种研究中先是创立了“机体系统论”，继而又提出“一般系统论”的重要思想的。

如果说，生命现象比较复杂的话，则社会现象就更有过之而无不及了。这不仅因为社会内部的各种关系非常多，难以把握，而且因为构成社会的主体是有思想的人，他无论干什么，都受其思想的直接指使，很难预料。因此，必须找到一整套科学的研究社会系统的方法，才能揭示其内部的规律性，并对之实施有效的控制和改造。马克思和恩格斯创立的唯物史观从宏观上揭示了社会发

展的一般规律及内部机制，而社会系统论和社会控制论则进一步对社会系统做出了定量分析与综合，从而使唯物史观变得更具有可操作性了。

总之，20 世纪以来社会实践的日益复杂化趋势需要用相应的理论和方法去认识和研究，而系统理论正是适应这种需要而诞生的。

二、20 世纪以来社会实践活动的信息化趋势推动了系统科学诞生和发展

信息在人类社会生活中的作用是不可低估的。无论是社会经济生活、政治生活，还是社会文化生活，都离不开信息联系，否则，人类就会陷入相互隔绝状态，人类生存就会发生问题。

但在 20 世纪之前，信息联系在社会生活中的重要性尚未得到充分暴露，而 20 世纪以来，随着人们社会实践范围的扩大，特别是伴随帝国主义时代的到来，世界经济、政治、文化交往日益频繁，信息联系在社会生活中的重要性愈来愈突出了，甚至形成了社会生活的信息化趋势，正是这种趋势导致了信息科学的诞生。这也可以从三个方面进行说明。

（一）社会生产实践活动信息化趋势

封建社会的农民基本上是根据自己生活需要进行生产的，生产手段主要靠人力和畜力，生产结果直接供自己消费。资本主义社会初期的资本家则主要是根据国内市场需要而从事生产的，生产手段主要是机器，生产结果则通过各种运输工具运到各地去销售。而现代社会的生产活动则较之于过去有所不同：（1）它是直接依据各种市场信息进行生产的。这些市场信息有些是国内的，有些是国外的；有些是现代的，也有些是未来的（预测信息），离开一定的信息，生产过程就无法进行。（2）生产过程本身也是依据信息对人流、物流、资金流进行调整和分配的过程。（3）生产结果也首先通过信息（如广告等）形式发布出去。这样就使整个社会生产过程注入了一种信息活力，极大减少了生产的盲目性。既然整个社会生产过程愈来愈离不开信息，因而专门以搜集、存储、加工处理和提供信息为职能的部门，诸如信息公司等也就如雨后春笋般地应运而生了，并在社会生产中起着愈来愈大的作用。不仅如此，20 世纪以来，还出现了一种专门以信息为生产对象的部门——信息产业部门，如计算机行业、出版印刷业、广播电视业等均属此行业。信息工业的产品主要是供人们消费的信息。由于信息消费目前已成为与物质、能量消费相并列的人类三大消费内容之一，甚至超过了后两项消费，因而信息产业的发展也必将向前更进一步。

（二）社会政治实践活动的信息化趋势

社会政治实践是整个社会实践活动的中心，它主要包括政治决策、政治控制、政治交往等方面的内容。20 世纪以来，这方面的信息化趋势也日益突出：（1）政治决策愈来愈离不开信息，信息全面而准确，以此为基础做出的决策就有可能正确；信息错误或片面，以此为基础做出的决策就一定会发生错误。毛泽东说：“指挥员的正确的部署来源于正确的决心，正确的决心来源于正确的判断，正确的判断来源于周到的和必要的侦察，和对于各种侦察材料的连贯起来的思索。”^{〔1〕} 这里讲的实际上就是决策（决心）与信息（侦察材料和思索结果）之间的关系。目前，世界各国政治决策机构都有多种信息渠道以获取信息，这对于保障其及时正确地做出决策具有极重要意义。（2）20 世纪以来的政治控制过程也愈来愈依赖于信息手段了。以往的政治控制主要是通过各级官吏或军队警察等国家机构来实现的，这可称之为硬控制；而 20 世纪以来，通过报纸、电视、广播、网络等渠道发布信息进行的软控制则愈来愈占有重要地位，此外，目前各发达国家普遍实行的电子政务更是直接依据电子信息从事政治和行政管理的过程。（3）政治交往中的信息化趋势也是十分明显的。无论是国与国之间，还是同一国内各种政治力量之间都愈来愈依赖信息进行交往了，除了进行直接的政治对话以外，通过新闻部门或舆论工具发表声明、谈话、备忘录以及警告、抗议、最后通牒等是各种政治力量之间愈来愈多地采取的交往方式。当然，也有些国家和政府之间通过“热线”直接进行会谈或磋商，以对重大政治问题交流看法，并取得一致。

（三）科学研究中的信息化趋势

20 世纪以前的科学研究，基本上是靠科学家们自己相对独立地完成的，由于交通的闭塞和通信手段的落后，科学家们很少、也不能及时了解本专业的他人研究状况，因而无法相互交流和借鉴科研成果。20 世纪以来，这种情况发生了变化。由于科学研究方面竞争的加剧和信息爆炸局面的出现，科学家们再也不能靠终日把自己关在实验室里进行研究了，而要拿出相当大的精力去翻阅最新图书资料或查阅网上信息，有时还要参加各种学术会议，以便交流研究成果，或随时调整科学课题。否则，一个科学家费九牛二虎之力搞出来的科研成果就很可能因与别人重复而变得没有价值。作者曾听说过这样一件事：某师范专科学校一数学教师花了二年时间解决了一道平面几何学中的难题，写出论

〔1〕《毛泽东选集》，第 1 卷，人民出版社 1991 年版，第 179 页。

文后给某大学一位数学教授审查，结果该教授指出，此题已于一年前被外国数学家解决了，且方法相同。这使该数学教师受到极大震动。总之，现在搞科学研究，无论是题目的选择，还是研究思路的确定，也无论是研究过程的进行，还是研究成果的发布和转让，都是离不开信息的。

社会实践活动的这种信息化趋势，对信息的获取、存储、分析处理和加工利用均提出了新的要求，这就不能不推动信息科学的产生和发展。

三、20 世纪以来社会实践活动的自动化趋势推动了系统科学诞生和发展

(一) 生产实践方面的自动化

众所周知，社会生产的发展一般经历了三个阶段，第一阶段是手工生产，第二阶段是机械化生产，第三阶段便是自动化生产了。自动化生产亦包括两个时期：其一是体力劳动自动化，其二是脑力劳动自动化。目前，脑力劳动的自动化阶段恐怕还刚刚开始，并且也只是表现在生产程序的自动控制上，至于完全脱离了人的产品自动设计过程还极少见报道。

据资料介绍，世界上第一个半自动化的流水作业线与车间是 20 世纪 30 年代初期在美国的一些工厂中首先出现的。不过当时的自动化程度还很低，实际上就是用一个伺服机系统把有待加工的部件送到工作机中去加工（车、镗、铣等），然后自动退出来（过去靠手工操作）。后来到了 1947 年，美国福特汽车公司建立了第一个现代意义上的自动化生产系统，也就是人通过按电钮操纵整个生产过程的系统。

自动化生产离不开控制，然而如何进行有效控制？这就给科学研究提出了重要课题。

(二) 战争方面的自动化

如果说，第一次世界大战具有前所未有的机械化色彩的话（坦克、飞机、远程大炮等武器都是在一战中开始使用的），那么，第二次世界大战就已具有自动化特征了。这里所谓自动化并非指整个战争都靠机器人去打，而是指在战争中愈来愈多地使用了一些自动化武器。

例如，二战中德国曾使用过一种在当时十分可怕的武器——V-2 飞弹。这种飞弹上面装有成吨炸药，能够自动飞行 320 公里，速度达到每秒钟 1.6 公里，飞行高度 160 公里，这实际上就是现代导弹的前身。二战中，希特勒曾下令用这种飞弹轰炸英国本土，共发射了 4300 枚，其中 1230 枚击中伦敦，炸死 2511 人，炸伤 5869 人，给英国造成重大损失。战争结束时，美苏均设法俘获

了一部分 V-2 飞弹的研制人员，这对推动两国的军事自动化技术的发展起了重要作用。此外，二战中由于德国法西斯执行空袭任务的飞机速度极快，以至于单靠人工预警和操纵火炮已很难对付，于是，盟国便加紧自动控制火炮的研制工作，而控制论的创始人——维纳则是参加这一研究工作的重要科学家，这为他后来创立控制论提供了直接的实践基础。

（三）科研方面的自动化

在科研方面，以往科学家搞研究主要是靠眼看、心想、手写等方式来完成的，如到图书馆去查找资料或到实地去观察、记录资料，在实验室内直接用手做实验等。20 世纪以来，这种手工科研方式虽尚未完全改变，但科学家们正愈来愈借助自动仪器来搞科研了。

首先以实验观察为例。过去主要是靠实地观察，而现在则可以通过遥控仪器进行远距离观察记录了，特别是在高真空、高压、高辐射的情况下做实验，人根本无法直接观察，只能通过自动仪进行记录才行，现在的远程医疗也是通过遥控仪器进行的。

又如，过去查阅资料要到图书馆去翻阅图书目录，办借阅手续，很费时费事，现在由于信息爆炸，就需要有一种快速查阅资料的方法，于是，自动检索电脑出现了。现在的科技工作者一般都有电脑并同信息库联结，需要什么资料一按键盘，立刻就在银屏上显示出来，极为方便。

科研活动的自动化趋势不仅表现在信息收集和获取方面，而且表现在信息处理、加工和利用信息做出结论方面。例如做天气预报用的各种气象信息就需要运用大型计算机进行自动化处理，人口普查的结果也需要使用计算机进行分析，一些复杂的数学定理亦需要运用计算机来证明……而计算机技术的发展乃是各种自动控制技术发展的核心。

四、20 世纪以来社会实践的组织化趋势推动了系统科学诞生和发展

20 世纪以来的社会实践还具有日益组织化的趋势。所谓组织化就是指社会实践活动愈来愈克服了过去那种单独进行的特点，而是愈来愈多地采取了相互协调合作的方式来进行。对此，我们也可以从三个方面来加以说明。

（一）生产实践方面的组织化趋势

社会生产本来就是有组织的活动。20 世纪的社会生产有两个特征促使这种组织化趋势日益加强。其一是企业生产规模愈来愈大，内部分工也越来越复杂，这就需要建立各个部门之间的有效联系，以加强组织性，否则就会影响生

产效率。其二是产生了很多巨型公司，而在这些巨型公司下面，往往又有几十个、甚至成百个上千个子公司、孙子公司，而且这些公司分布在全国、甚至世界各地。在这种情况下，要想维持生产的高效率，就更需要通过一定方式来加强组织性。此外，目前世界上有很多国际性或地区性经济组织，如世贸组织、石油输出国组织等等，这本身也是生产实践方面组织化趋势的表现。

据作者所知，目前世界上各大公司的组织形式主要有这样两种：一是以中央集权为特点，它致力于使世界各地的子公司完全一体化，如国际商用机器公司（IBM）即属此类。二是以分散权利为特征。这种分散权利有时甚至发展到鼓励内部展开竞争的程度，其代表性公司主要有松下电器公司、休斯特——帕卡特公司、3M公司等。据国外报纸报道，目前这两个类型公司正在彼此靠拢：松下电器公司等大跨国公司已连续多年采取措施，加强各经营单位的合作，而国际商用机器公司则致力于放松对其各部门的集中控制，允许各子公司有相对独立性。因为这两大类型的公司在各自管理实践中都感到，单纯强调哪一方面对于获得竞争优势都是不利的，而必须把二者结合起来才好。

（二）政治、军事方面的组织化趋势

政治和军事对组织化的要求一向是很强的。我国战国时期曾产生过“连横”与“合纵”两大政治组织，对当时的社会发展起过重要作用。20 世纪的两战世界大战也都是两大政治、军事组织之间的战争。现在世界上也有不少政治、军事组织，如联合国、欧盟、东盟、阿盟、上海合作组织以及北大西洋公约组织（简称北约）等。这些国际政治、军事组织在国际政治生活中发挥着愈来愈重要的作用。

战争是政治斗争的最终手段。历史表明，战争双方军事力量相等，但组织程度不同，其交战结果必定是组织性强的一方战胜组织性差的一方。拿破仑曾总结过这样的战争经验：三个法国兵打不过一个马木留克（埃及王朝的名字）兵，但 300 个法国兵就可与 300 个马木留克兵势均力敌，而 1000 个法国兵就可打败 1000 个马木留克兵，若 1500 个法国兵则可绝对打败 1500 个马木留克兵，其中原因便是法国兵有良好的组织结构，而马木留克兵则主要依靠单个兵员的英勇善战，因而难以发挥出整体优势。此外，第二次世界大战之前，日军频繁往中国东北调集军队，造成从东面进攻苏联的态势，实际是迷惑苏联，配合希特勒从西面向苏联发动进攻，结果使苏联领导人上当受骗，战争一开始，西线苏军一溃千里，损失惨重。直至美苏法中英联合起来，协同合作，才终于取得战争的胜利。另外，人们都知道，在二战开始之前，英国人就已发明了雷达，但在二战开始时，雷达并未发挥出应有的作用（这是酿成珍珠港事件惨

剧的原因之一), 后来, 人们把雷达系统同通信系统和作战指挥系统统一起来, 使之形成一个有机整体, 雷达才发挥出了巨大威力。

20 世纪末, 美国未来学家阿尔温·托夫勒写了一本叫《第三次浪潮时期的战争》的书, 他认为这一时期战争的特点是天空地海一体战, 即立体战争。而打立体战争有一个最基本的要求——非常强的作战“协调能力”, 即把天空地海军事力量调集在一起, 使其达到极高水平的协调合作, 任何一个环节若稍稍游离于组织之外, 都会使整个战争受到严重影响, 甚至使自己遭受灭顶之灾。近年发生的美伊战争、科索沃战争等都是这种战争的典型。可见, 现代战争中的组织化趋势是非常突出的。

(三) 科研方面的组织化趋势

20 世纪之前, 科研活动基本上都是科学家们分散地、单独地进行的。例如牛顿的万有引力定律, 主要是在开普勒等人成就的基础上, 通过个人的思考钻研发现的。法拉第发现电磁感应定律的过程, 也只有两个助手帮忙, 世界著名的诺贝尔奖只授给单个科学家便是这种状况的反映。可是到了 20 世纪以后, 由于生产社会化和研究对象日益复杂化的需要, 这种分散的单独进行的科研方式便愈来愈为有组织的集体的科研方式所取代了。现在的科研活动一般都是在科学院、科学学会或协会、科研所、实验室, 或什么科技开发公司、科研中心等科研机构中有组织地进行的。在这些科研机构中, 集中着各方面的大量的科学家和工程师, 他们既有分工, 又相协作, 攻克着一个个大型项目。在这方面可以举两个例子: 其一, 1941 年时, 美国防部搞了一个“曼哈顿工程”^[1]计划——研制原子弹。在该计划实施过程中, 先后动员参加的科技人员有 15 万名之众。这么多人在一起工作, 没有严密的科学组织管理是不行的, 所以这项工程的总负责人之一——奥本海默 (J·R·oppenheimer, 1904—1967) 在事后总结经验时说了这么一句话: “使科学技术获得成功的是科学的组织管理。”这个总结极为重要。其二, 1961 年, 美国又组织实施了震惊世界的阿波罗登月计划, 参加研制的科技人员则多达 42 万, 由于采用了现代化的系统工程组织管理方法, 历经十年终于胜利完成了任务。

我国自建国以来在科技方面所取得的一系列光辉成果也无不是集体组织攻关的产物, 从第一台电子计算机的研制到原子弹、氢弹的成功试爆, 从第一颗人造卫星的顺利发射到“中国龙芯”的研制成功, 都是我国科学家群体在党

[1] 在曼哈顿工程计划中, 物理学家康普顿 (1892—1962) 负责裂变材料的制备工作, 弗米 (1901—1954) 负责制造原子反应堆, 奥本海默负责制造原子弹。

的领导下，有组织地攻关的结果。

总而言之，组织化是现代社会的一个十分重要的发展趋势。无论是生产，还是战争，还是科学研究，没有对人、财、物的严格的组织管理，无论什么事都是很难搞成功的。“老西拉胡琴”式自顾自的方法已愈来愈不适应现代社会发展的需要，自组织系统理论正是与此相适应而建立和发展起来的。

五、20 世纪以来科学技术的应用化趋势推动了系统科学的诞生和发展

恩格斯在讲到近代自然科学的发展时，曾把它划分为两个阶段：一是 15 世纪下半叶—18 世纪末，这是搜集材料的科学；二是整个 19 世纪，这是整理材料的科学。^{〔1〕}而今，20 世纪业已成为历史，那么，这一世纪的自然科学又属于什么性质的科学呢？本书作者认为，从本质上讲，20 世纪的自然科学是应用材料的科学，即关于理论和技术应用方面的科学。这主要表现在以下几个方面：

1. 反映自然科学实际应用的学科——工程技术和技术科学是在 20 世纪初诞生的。钱学森同志指出，工程技术就是应用自然科学的基本理论实际去改造世界，如水力工程、电力工程、土木工程等都是这样。而工程技术作为一门学问，正是在 19 世纪末和 20 世纪初才形成的。在这之前，“改造客观世界的能工巧匠只被认为是具有才能的人，而他们的才能还没有被总结成学问，特别是能在高等院校里讲授的学问”。^{〔2〕}技术科学则是在工程技术的基础上产生出来的一门学科。钱学森认为：“技术科学是以体质科学的理论为基础，针对工程技术中带普遍性的问题，即普遍出现于几门工程技术专业中的问题，统一处理而形成的，如流体力学、固体力学、电子学、计算机科学、运筹学、控制论等等。”^{〔3〕}而技术科学大致到了 20 世纪 20 年代以后，才正式形成体系并发展起来。

2. 科学技术应用周期日益缩短。在 20 世纪之前，科学研究从成果的取得到投入实际应用所经历的时间过程一般都比较长，例如：蒸汽机从发明改进到普遍应用花了整整 100 年时间（1680—1780），电动机则花了 57 年（1829—1886）。然而 20 世纪以来，这种科学技术的应用周期则明显缩短，如直升飞机从 1909 年发明到生产，经过了 23 年；雷达从发明到投入使用，周期为 15 年（1925—1940）；喷气发动机从研制到产品制成用了 14 年（1929—1943）；涡

〔1〕《马克思恩格斯选集》，第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 245 页。

〔2〕钱学森等著：《论系统工程》，湖南科学技术出版社 1982 年版，第 193 页。

〔3〕钱学森等著：《论系统工程》，湖南科学技术出版社 1982 年版，第 212 页。

轮喷气发动机则用了 10 年 (1934—1944); 原子能的周期为 3 年 (1939—1942); 太阳能电池的周期为 2 年 (1953—1955); 而激光于 1960 年发明后, 当年就投入使用, 目前在超导陶磁研究、克隆技术以及纳米技术等方面, 更是紧扣着实际应用而进行。而科技成果应用周期的缩短, 是与科技成果开发应用研究的强化分不开的。20 世纪 80 年代初期, 在一些发达国家开始出现了一种科研与生产联合体, 即“科学—技术—生产”体系, 如美国为了加快科研成果在生产上的应用, 就建立了一种叫“科学——工业综合体”的科研生产中心。这种体系的出现正是科学技术发展到应用阶段的必然产物。

3. 科技应用对发展生产的效果日益突出。发展社会生产是离不开各种投入的, 而在这方面, 过去主要是靠投入劳动力、劳动资料和劳动对象, 而现在发展生产则愈来愈靠投入科学技术。有人曾做过这样的统计: 19 世纪时, 科技投入在发达国家经济增长中所占的比重仅为 2% ~ 3%, 到 20 世纪初时, 该比重则上升为 5% ~ 20%, 第二次世界大战后, 该比重更上升到 30% ~ 40%, 20 世纪 70 年代以后则上升到了 50% ~ 70%, 正因为如此, 有人曾把科学技术的应用称为现代生产力发展的倍增器。

20 世纪科学技术既然出现了这种应用化趋势, 那当然会反映到理论上, 并需要有人对如何应用科学技术于生产进行概括和总结, 于是, 系统科学这一重要的把科学技术成果应用于生产力的科学也就应运而生。

第三节 系统科学的方法论功能

系统科学诞生后, 无论对于人们认识世界, 还是对于人们改造世界, 都发挥了十分巨大的作用, 推动人们在这两方面取得前所未有的进步。

一、系统科学揭示了客观世界很多新的属性和规律, 从而极大丰富了人们的认识, 推动人类认识进入新阶段

(一) 实物质——系统质

科学的发展过程是不断揭示事物的质、属性和规律的过程。以事物的质而言, 以往科学所揭示的大都只限于事物的“实物质”, 即事物在相对孤立状态时所具有的质, 例如, 这是桌子, 那是黑板, 这是书, 等等。实物质的特点是具有单一性。系统科学则揭示: 事物除了有“实物质”以外, 还有“系统质”, 即事物在系统中所具有的质。实践表明, 事物处在不同的系统中就会有

不同的质。例如。0 是什么？谁也不能肯定，因为其在不同的系统里，本质是不同的：在几何学系统中，它是一个圆；在数学系统中，它又是一个零；在英语字母系统中，它是字母“喔”；在化学系统中，它又是氧元素的符号；在小学图画本中，它可能代表一个鸡蛋……由于任何事物都处在无限多的系统中（包括空间系统，时间系统两大类），因而其系统质也是无限的。因此，我们要正确认识一个事物的质，就必须首先看它处在什么系统中，然后才能确定。实际上，我们平时所说的：“实物质”不过是“系统质”的特定形式罢了。把握事物的“系统质”很重要：它可以使我们避免片面性和形而上学，发现事物多方面的质及其属性，以达到全面认识事物和把握事物的目的。可见，由于系统科学的创立，把人们对事物质的认识向前推进了一大步。

（二）物质、能量——信息

人类认识的发展过程也是认识对象不断扩展的过程，这种扩展既表现在量的方面——如人类对宇宙空间认识的范围不断扩大，又表现在质的方面。科学的发展表明，人类以往的认识对象主要是在物质和能量两个方面，其中既包括各种各样的物质形态，又包括各种各样的运动形态（能是运动属性）。系统科学的创立则使人们的认识对象扩展到了信息领域，使人们对信息的本质、规律、构成、类型及功能等等问题有了日益明确的认识，并且能够利用这种认识为社会发展服务。例如，过去人们知道，生物系统与外界环境发生联系的形式有两方面：其一是物质交换，如生物的新陈代谢过程就是物质交换过程，吸入氧气、呼出二氧化碳；吃进食物，排出粪便。其二是能量交换，为人们吃进的食物中都包含有一定的热能，食物经消化后，释放出一定能量，以供身体活动的需要，同时，人体在活动中，又会释放出一部分热能。信息论告诉人们，生物与外界环境的关系还有信息交换。如动物之间的相互呼叫，实际上就是一种信息交换方式。美国芝加哥大学的科学家们经过研究发现，柳树在遇到毛虫侵害时，会发出一种信息，其他柳树在接到信息后会立即做出防御反映。这表明柳树也是处在信息交换之中的。信息交换不仅是生物与环境相互联系的形式，而且是社会组织与环境联系的形式，无论工厂还是商店，也无论学校还是医院，都同外界发生着一定的信息联系，作为一个单位的负责人，不读书，不看报，上情不能下达，下情不能上达，孤陋寡闻，消息闭塞，那他要做好领导工作是根本不可能的。所以，信息交换实际上也是生物界和人类社会存在的必要条件。

(三) 认识世界、改造世界、控制世界

人类对客观世界的认识，不仅是指对客观世界本质及其规律的认识，而且包括对人与客观世界关系的认识。那么，人类同客观世界的关系如何？以往人们认为只有两个方面：其一是认识与被认识的关系，其二是改造与被改造的关系。控制论诞生后，又揭示出人类与客观世界之间还有控制与被控制的关系。实践表明，人对世界的控制能力对其认识能力和改造能力起着重要作用；人类只有学会控制世界，才能进一步谈到认识世界和改造世界，如果一个人缺乏控制能力（包括自我控制能力和控制他事物能力），那他要想有效认识和改造世界是很难的。例如科学实验就必须有控制地进行，否则无法观察；我们现在搞改革开放，也必须有控制地去搞，失去控制，就会出乱子。我们搞工农业生产、搞文化教育、也必须有控制，否则就会破坏环境生态平衡，从而带来损失。总之，我们无论做什么工作，都必须有控制地去做才行，甚至连日常吃饭、睡觉、喝酒等也要进行控制，不能见到好吃的东西便吃起来没完，否则胃脏就要对人进行控制了。可见，对人与客观世界控制关系的认识乃是系统科学的一大贡献。

二、系统科学提供了一系列崭新的方法论武器，从而极大增强了人们认识世界和改造世界的能力

(一) 系统科学中的“黑箱”方法极大增强了人们认识事物内部结构的能力

人类以往对事物结构的认识，大都是通过分解的办法来实现的。例如，石油工人通过钻探地层，可知地下油气结构，生物学家通过解剖动物尸体，可知动物内部脏器结构。然而，随着实践的发展，人们愈来愈多地遇到这样一些问题：有些事物的结构是无法或很难通过分解法来直接观察的，如地球内部的结构、大脑内部的结构等等，对于人脑当然也可通过解剖死人的大脑来研究，但死人的大脑与活人的大脑是有本质区别的。怎么办？控制论中的“黑箱”方法为人们提供了一个有效途径。所谓“黑箱”方法，就是指给一个系统输入各种信息，然后观察其输出信息的变化，再进行分析研究，得出对其内部机制的认识的方法。例如，考试方法就是一种“黑箱”方法：学生学习的状况如何？书本上的知识理解的怎么样？是否会用？这些从外面都是看不出来的，老师出几道题，让学生答一答，就知道了。在这里，老师给学生出题目，就是给学生大脑输入信息，而学生答题就是输出信息，老师通过分析出题与答题的对

应关系，就知道学生掌握知识的情况了。

(二) 系统科学中的系统方法和系统工程方法极大地提高了人类的管理能力

例如，过去人们只能管理一些比较简单的事情，而对于复杂事物的管理往往显得无能为力。不是有这么一句话叫“鸡多不下蛋，人多瞎胡乱”吗！这实际上就反映了人们管理能力的有限性。现在，由于有了系统工程方法，就可以从根本上改变这种状况了。举个众所周知的例子：1960 年美国政府决定，要在 1970 年以前用宇宙飞船把人送到月球上去，并需安全返回。这是一项极其艰巨而复杂的工程，根据设计，这个飞船上的零部件就有 700 多万个，因而必须有众多厂家参与研制，实际结果是：参加研制的公司有 2 万多个，大学 120 余所，人员共 42 万，耗资 300 多亿美元。对于这样一个规模巨大的科研项目，传统的组织管理方法是根本不行的，但由于采用了系统工程方法，则顺利完成了任务。1969 年 7 月，阿波罗 11 号登月飞船，载着两名宇航员最先到达月球，开辟了宇宙航行的新纪元。据说日本科学家当时了解了阿波罗 11 号研究过程后认为，飞船的所有零部件日本均能制造，但日本却搞不出这个飞船，原因是缺少系统工程技术。自此以后，美国又制定了一个可重复使用的航天飞机研制计划，经过十多年试验，1981 年 4 月 12 日“哥伦比亚”号发射成功，并顺利返回地面。^{〔1〕}

(三) 系统科学中的信息方法极大地增强了人们改造和控制世界的能力

人类对客观世界的控制和改造方法通常有两种：一是物质方法，如用肥料改良土地，用浇水促进植物生长，通过服药使人去除病痛等。二是能量方法，如通过给电使金属融化，通过加热使生食变熟食，通过加压使物体变形等。信息论则告诉人们，运用信息方法亦可达到控制和改造客观事物的目的。例如，在一些大飞机场上空经常有鸟飞过，这对于飞机正常飞行是有极大危险的，当飞机起飞或降落时，如果鸟被吸入发动机，就会酿成事故。过去人们想了很多办法解决此问题，但效果均不理想，后来有人受信息方法的启发，在机场四周安放几个高音喇叭，定期播放老鹰的叫声，飞鸟听到老鹰叫声后立即逃之夭

〔1〕（迄今为止，美国共研制出五架航天飞机，其中，“挑战者”号于 1986 年 1 月 28 日升空后不久爆炸，7 名宇航员牺牲；“哥伦比亚”号则于 2003 年 2 月 1 日在返回大气层时失事，又有 7 名宇航员遇难。）1988 年 10 月，前苏联“暴风雪”号航天飞机也试飞成功。这些成就的取得都离不开系统工程技术的应用。

天，结果起到了保障飞机飞行安全的作用。又如，以往农民种庄稼，无非就是通过及时浇水、施肥等方法令其生长，以获增产效应，但近年科学研究表明，通过给作物定期输入某种声音信息亦可获得突出的增产效果。如据报纸报道：研究人员用给植物听音乐的方法，培育出了 30 公斤重的卷心菜、雨伞那么大的蘑菇、足球一样大的红薯、25 公斤重的萝卜。我国青岛物理农业科技发展有限公司研制出一种用声音刺激农作物生长的技术，即把一个声频发生器放在 100 多亩的玉米地里，4 个喇叭每天放音 3 小时，每周放 3 次，结果玉米增产 40%，草莓用同法处理增产 50%，而且提高了三个甜度。美国植物学家乔治·史密斯经过长期研究发现，玉米和大豆“听”了格什温的《蓝色狂想曲》后发芽特别好。南瓜偏爱海顿和勃拉姆斯，甜瓜则喜欢舒伯特。但他所种的玫瑰却迷上了贝多芬的小提琴演奏会 D 大调第 61 乐章，而仙人掌则把斯特拉文斯基当作它们的超级明星。用矮牵牛花做实验，测出它们喜爱的作曲家顺序如下：巴赫、埃林顿“公爵”、路易斯·阿姆斯特朗。有人把上述作用称为“音乐肥料”所起的作用，这是有一定道理的。

总之，系统科学及其方法无论是对于人们认识世界方面，还是对人们管理或控制世界方面，抑或人们改造世界方面，都日益发挥出巨大作用，而这也正是人们越来越重视系统科学与方法的原因。

第一章 系统方法

第一节 系统思想发展史

系统思想的发展史即人们对物质世界系统性认识的历史。这个历史经历了古代、近代、现代三个发展时期。

一、古代的系统观念

恩格斯指出：“在希腊哲学的多种多样的形式中，几乎可以发现以后所有的观点的胚胎、萌芽。”^{〔1〕} 现代系统观念也是源于古代人的哲学认识之中的。

“系统”一词早在古希腊即已出现。例如，唯物主义哲学家德谟克利特的两本没有流传下来的著作名称即为《世界大系统》和《世界小系统》。^{〔2〕} 另一唯物主义哲学家伊壁鸠鲁在一封致友人的信中，也把自己所写的“全部关于自然的作品”称为“整个系统”，并要人们记住这一“整个系统的基本要点”。^{〔3〕} 但是，总的说来，“系统”一词在当时尚未成为一个具有确定科学含义的概念，也未受到人们重视。

现代系统观念主要是从古代人对世界整体性的认识发展而来的，古代人对世界整体性的认识表现在两方面：（1）在宏观上把自然界看作是一个无限多样化的统一整体。如赫拉克利特在《论自然界》一书中就认为：“世界是包括一切的整体”。^{〔4〕} 毕达哥拉斯则指出：“整个的天是一个和谐”。^{〔5〕} 中国古代的老子也把整个世界看成是由“道”这个统一体发展而来的，他说：“道生

〔1〕《马克思恩格斯选集》，第4卷，人民出版社1995年版，第287页。

〔2〕《古希腊罗马哲学》，北京大学哲学系编译，三联书店1957年版，第95~96页。

〔3〕《古希腊罗马哲学》，北京大学哲学系编译，三联书店1957年版，第96页。

〔4〕列宁：《哲学笔记》，人民出版社1974年版，第395页。

〔5〕《古希腊罗马哲学》，北京大学哲学系编译，三联书店1957年版，第37页。

一，一生二，二生三，三生万物”。^{〔1〕}《系辞》中则认为“太极生两仪，两仪生四象，四象生八卦。”^{〔2〕}这也就是说，世界原来是个统一的整体叫“太极”，后来，太极又分出阴阳这两种事物来，阴阳相互作用又产生了冬春夏秋四时的变化，冬春夏秋四时的变化又产生了天地风雷水火山泽八样事物，这八样事物的对立统一又产生万事万物无穷无尽的变化。（2）在微观上也把具体事物看成是一个一个的统一体。例如，独特的古代中医理论就是建立在人体整体观的基础之上的，无论是诊断还是治疗，都强调从整体入手，而反对那种“头痛医头、脚痛医脚”的治疗方法。中国古代的战争观也特别强调整体性。无论是孙武还是孙膑，都认为只有把握好战争的全局才能取得胜利，而反对那种只顾一时一地得失的战争指挥办法。

古代人不仅注意对世界整体性的认识，而且对于整体性本身，也进行过初步的理论探讨。例如，关于什么是整体，亚里士多德就这样讲：整体是“由若干部分组成、其总和并非只是一种堆积，而其整体又不同于部分”^{〔3〕}的东西。他还说：“一个整体乃是那有开端、中部和终点的东西”。^{〔4〕}因此，他认为看戏不能从中间看，要从开始看，这样才能得到一个整体性的认识。关于部分对整体的影响，亚里士多德指出：“一个完整的整体，其中细节是如此紧密地联系着，以至任何一部分的移动或取消都会肢解和破坏了整体。”^{〔5〕}亚里士多德的这些论述，同现代系统论的思想是完全一致的。正因为如此，贝塔朗非把亚氏作为系统论的古代创始人。

古代思想家对世界或事物整体性的认识，并非建立在科学发展的基础之上，而主要是在实践中凭借感性直观的结果。故从总的方面来讲，还不能不带有笼统的、猜测的性质，属于朴素的整体观念。

二、近代系统观念

近代系统观念是在古代整体观念基础上发展起来的，它又可以分为两个时期。

第一时期是从15世纪下半叶到18世纪末的形而上学整体观时期。大家知道，这一时期的自然科学主要是“搜集材料”^{〔6〕}的自然科学。所谓搜集材料，

〔1〕 任继愈：《中国哲学史》，第1册，人民出版社1979年版，第47页。

〔2〕 任继愈：《中国哲学史》，第1册，人民出版社1979年版，第204页。

〔3〕 《古希腊罗马哲学》，北京大学哲学系编译，三联书店1957年版，第263页。

〔4〕 《古希腊罗马哲学》，北京大学哲学系编译，三联书店1957年版，第336页。

〔5〕 《古希腊罗马哲学》，北京大学哲学系编译，三联书店1957年版，第337页。

〔6〕 《马克思恩格斯选集》，第4卷，人民出版社1995年版，第245页。

主要就是指通过实验观察手段，把各种经验材料尽可能收集起来，以供进一步总结、概括之需要，在认识论上属于感性认识阶段。当时，只有数学和力学达到了某种相对完善的程度。这一时期的自然科学在研究方法上则强调以分析、解剖为主，具体而言，也就是把自然界分解为各个部分，把自然界的各种过程和事物分成一定的门类，对有机体则进行各种各样的解剖，然后对每一部分孤立地、分别地加以研究。例如，著名瑞典动植物学家林耐（1707—1778）就曾把整个自然界分为动物界、植物界、矿物界三大部分，往下又依次分为纲、目、种、属等等，他认为科学研究应当这样分门别类地进行。在无机界方面，当时也被分为众多领域而单独考察，如声、光、热、电、燃烧等等。近代医学则把人体分为诸多系统而分别加以研究。在这种科学发展水平的基础上，人们对世界整体或具体事物的哲学看法上则形成三大特征：其一是把世界整体看成是各个部分的“偶然堆积”或简单相加，认为认识了部分，也就认识了整体。如法国数学家笛卡儿（1596—1650）在总结上述科研方法时就曾这样说过：“把我所考察的每一个难题，都尽可能地分成细小的部分，直到可以而且适于加以圆满解决的程度为止。”^{〔1〕}这种方法也被称为还原方法。其二是把整个世界看成是一架服从力学规律的机器，用机械观点去解释各种现象。如17世纪英国哲学家霍布斯就认为人是一架完全按力学性质运动的机器，心脏是发条，神经是油丝，关节则是齿轮。18世纪法国唯物主义哲学家拉·美特利也认为人的身体是“一架自己会发动自己的机器”，不过人比动物“多几个齿轮”，“多几条弹簧罢了”。恩格斯曾指出：“仅仅运用力学的尺度来衡量化学性质的和有机性质的过程（在这些过程中，力学定律虽然也起作用，但是被其他较高的定律排挤到次要地位），这是法国古典唯物主义的一个特有的、但在当时不可避免的局限性。”^{〔2〕}其三是把事物看成是孤立存在的整体，而否认相互之间的联系。诚如恩格斯所说，形而上学“堵塞了它自己从认识个别到认识整体，到洞察普遍联系的道路”，^{〔3〕}它“只见树木，不见森林”。^{〔4〕}

当然，在这一时期的科学和哲学发展中也不是根本没有坚持辩证整体观念的人。历史现象非常复杂，它并不像某些形而上学者所设想的那样纯粹。例如德国数学家、哲学家莱布尼兹（1644—1716）在《单子论》中就曾指出过宇

〔1〕《十六—十八世纪西欧各国哲学》，北京大学哲学系编译，三联书店1958年版，第110页。

〔2〕《马克思恩格斯选集》，第4卷，人民出版社1995年版，第228页。

〔3〕《马克思恩格斯选集》，第4卷，人民出版社1995年版，第287页。

〔4〕《马克思恩格斯选集》，第3卷，人民出版社1995年版，第360页。

宙“是被规范在一种完满的秩序中”^{〔1〕}的“和谐体系”,^{〔2〕}“物质的每个部分都可以设想成一座充满植物的花园,一个充满着鱼的池塘”。^{〔3〕}此外,他还提出过“等级”、“层次”和“结构”等观点。贝塔朗菲认为“莱布尼兹的单子等级看来与现代系统等级很相似”。^{〔4〕}这种对世界辩证整体性的看法都是十分宝贵的。

第二时期是整个19世纪辩证整体观的形成时期。从19世纪开始,自然科学的发展由搜集材料阶段进入到整理材料阶段。所谓整理材料,也就是把前一阶段得到的关于自然界各个部分的认识联系起来加以研究和考察,表现在研究方法上也就是从过去那种以分析为主过渡到以综合为主。可是这样一来,原来那种形而上学的整体观也就站不住脚了,特别是由于三大发现和自然科学的其他巨大进步,令人信服地证明了自然界的普遍联系特性,唯物辩证法的整体观也就终于不可阻止地诞生并成长起来。

19世纪的辩证整体观实际上也就是系统观,它主要表现在如下几个方面:

1. 它把自然界或人类社会都看成是有机联系的整体,并注意揭示其组成部分同整体的辩证关系。恩格斯在《自然辩证法》中曾这样描述过自然界:“我们所接触到的整个自然界构成一个体系,即各种物体相联系的总体,而我们在这里所理解的物体,是指所有物质的存在,从星球到原子。”^{〔5〕}在《反杜林论》中又指出:“当我们深思熟虑地考察自然界或人类历史或我们自己的精神活动的时候,首先呈现在我们眼前的是一幅由种种联系和相互作用无穷无尽地交织起来的画面,其中没有任何东西是不动的和不变的,而是一切都在运动、变化、生成和消逝。”^{〔6〕}在这两段话里,恩格斯明确地表达了世界是一个有机联系整体的思想,这也是对19世纪科学成果的高度哲学概括。关于整体与部分的辩证关系,这时也已形成较深刻的认识。例如,黑格尔在谈到太阳系的整体性时讲:“太阳、彗星、月球和行星一方面表现为互相差异的独立自在的天体,另一方面它们只有根据它们在诸天体的整个系统中所占的地位,才成为它们之所以为它们。它们的特殊方式的运动以及它们的物理的性质都取决于它们对这个系统的关系。”^{〔7〕}他还认为:动物的肢体和各种器官“只有在它们

〔1〕《十六—十八世纪西欧各国哲学》,北京大学哲学系编译,三联书店1958年版,第303页。

〔2〕《十六—十八世纪西欧各国哲学》,北京大学哲学系编译,三联书店1958年版,第306页。

〔3〕《十六—十八世纪西欧各国哲学》,北京大学哲学系编译,三联书店1958年版,第304页。

〔4〕贝塔朗菲:“普通系统论的历史和现状”,《科学学译文集》,科学出版社1981年版,第306页。

〔5〕《马克思恩格斯选集》,第4卷,人民出版社1995年版,第347页。

〔6〕《马克思恩格斯选集》,第3卷,人民出版社1995年版,第359页。

〔7〕黑格尔:《美学》,第1卷,第150页。

的统一体里，它们才是肢体和器官，它们对于那有机的统一体是有联系的，决非毫不相干的。”^{〔1〕}在这里，黑格尔清楚地指出了整体对部分的制约作用。关于整体不等于部分机械之和的思想，黑格尔也有论述，如他讲：“我们要真正认识有机体的生命，单凭全体与部分之间的外在的、机械的关系是很不够的。”^{〔2〕}后来，恩格斯也指出：“部分和整体在有机的自然界中已经是不够用的范畴了”，^{〔3〕}因为“无论是骨、血、肌肉、细胞纤维组织等等的机械组合，或是各种元素的化学组合，都不表示某个动物。”^{〔4〕}但是，究竟用什么范畴来取代部分和整体这对范畴，由于科学发展水平的限制，当时尚未有人提出来。

2. 19世纪辩证的整体观还表现在其对整体内在结构的揭示方面。19世纪的思想家们不仅把自然界和人类社会都看成是有机联系的整体，而且注意考察其内在的联系方式——结构。这样就使人们对物质世界系统性的认识进一步深化了。例如，俄国化学家门捷列夫（1834—1907）对化学元素的认识就是这样的：1869年2月他发表了第一张元素周期表，1871年他又发表了经过修订的第二个化学元素周期表。在这些周期表中，各种元素都处于一定的位置，且每种元素都与前后各元素保持一定的数量关系，这样就从化学角度揭示了整个自然界的结构特征。法国比较解剖学家居维叶（1769—1832）则在揭示动物内在结构方面做出了一定贡献：他认为，动物的各个器官之间是密切联系着的，人们根据对这种相互联系的认识，就可以凭借绝种动物的残骸来重塑它的结构、外貌和生活方式。而他自己则在从事化石遗骨的研究过程中，复制出150种哺乳动物的模型，从而列出了从现存动物到已绝种动物之间的历史序列。对社会现象的认识也是如此：马克思、恩格斯用唯物辩证法考察社会，深刻揭示出社会形态是建立在一定生产力水平之上的由经济基础和上层建筑两大部分构成的统一体，而这两大部分的关系是：经济基础决定上层建筑，上层建筑反作用经济基础。此外，他们还对社会经济结构，政治结构、文化结构等也进行了深刻考察，极大地推动了人类对社会系统科学认识的发展。

3. 19世纪的辩证整体观还表现在对事物整体与环境的相互关系的认识方面。关于环境因素在事物发展中的作用，18世纪法国唯物主义思想家们就已经注意到了。爱尔维修就曾讲过“人是环境的产物”，但他这里所说的环境主要是指法律和执行这种法律的社会制度，因而这种环境决定一切的观点带有唯

〔1〕 黑格尔：《小逻辑》，商务印书馆1980年版，第282页。

〔2〕 黑格尔：《小逻辑》，商务印书馆1980年版，第282页。

〔3〕 《马克思恩格斯选集》，第4卷，人民出版社1995年版，第320页。

〔4〕 《马克思恩格斯选集》，第4卷，人民出版社1995年版，第321页。

心主义的性质。生活在 19 世纪的马克思对这种观点进行了批判,他指出:这种“唯物主义学说忘记了:环境是由人来改变的,而教育者本人一定是受教育的。”^{〔1〕}这就正确揭示了人同环境的辩证关系。19 世纪对环境作用的认识主要表现在生物学研究方面。法国著名生物学家拉马克(1744—1829)在谈到生物进化时认为:环境变化可以引起高等动物的行为、习性的改变,使某些器官加强活动而得到发展,另一些器官则由于减少活动而趋于退化。例如,长颈鹿就是由于外界环境的作用而长成那个样子的:长颈鹿原来生长在非洲的干旱地区,那里青草很少,只好吃树上的叶子,低处叶子吃光了,又吃高处的叶子,因而不得不用力把颈伸长,这样久而久之,长颈鹿的颈部就变长了。达尔文(1809—1882)的生物进化理论则进一步阐明了生物进化同环境之间的关系。这种理论认为,不同种生物之间以及同种生物的不同个体之间,必然进行着非常激烈的“生存斗争”,只有那些较能适应环境的生物才有较多机会保存下来(“适者生存”),而适应性较差的便会逐渐被淘汰。总之,这一时期对事物与环境之间相互关系的认识是辩证整体观的一个重要内容。

三、现代系统观念的产生

在 19 世纪科学发展的基础之上,人们对物质世界系统性的认识虽已基本形成了,但这种认识尚未上升为一种独立的理论,甚至“系统”一词亦还没有作为一个明确的认识论范畴提出来。黑格尔、恩格斯虽已觉察到“部分和整体已经是在有机界愈来愈不够的范畴”,但又一时没能找到新的范畴来取代之,这当然不是由于他们的愚钝,而只能从科学的发展水平方面去找原因。

历史的发展进入了 20 世纪初期。这时,在生物学家中间展开了一场“关于机体概念的斗争”,^{〔2〕}即关于如何正确解释生命现象的理论斗争,当时主要存在这么几派观点:

(一) 活力论观点

所谓活力论就是把生命活动看成是一种特殊的、神秘的、超自然的、“活力”的体现。其理论渊源可以追溯到亚里士多德的“目的论”,其近代代表人物则是著名瑞典化学家贝采里乌斯(1779—1848),他曾把有机化学定义为“在活力影响下所形成的物质的化学”。^{〔3〕}20 世纪初期坚持活力论观点的主要

〔1〕《马克思恩格斯选集》,第 1 卷,人民出版社 1995 年版,第 55 页。

〔2〕贝塔朗菲:“普通系统论的历史和现状”,《科学学译文集》,科学出版社 1981 年版,第 309 页。

〔3〕胡文耕:《分子生物学中的哲学问题》,天津人民出版社 1982 年版,第 73 页。

是德国生物学家杜里舒。他在做海胆胚胎实验时发现,一个完整的海胆胚胎能够形成一个海胆个体,半个海胆胚胎也能形成一个海胆个体,两个海胆胚胎结合起来还是形成一个海胆个体。对于生物发育中的这一现象,他认为用机械论是难以解释的,而只能用存在于生物体内的活力——“隐德来希”^{〔1〕}来说明。1928年《有机体的科学与哲学》出第四版时,他又把基因也解释为“是隐德来希借以形成结构的手段”,并且认为“发生在活的有机体中的过程,既不是物理化学过程的结果,也不是两者过程的结合”,^{〔2〕}而是全由神秘的活力来支配。这种活力论观点显然是不能科学地揭示生命活动本质的,实际上,它无非是上帝创造世界这一宗教世界观的生物学变种而已。

(二) 机械论观点和还原论观点

这种观点原是由法国数学家笛卡儿(1596—1650)首先提出来的。在《方法论》中,笛卡儿曾把动物身体看成是一架机器。后来,哲学家拉·美特利(1709—1751)把人也看成是一架机器,这在当时的自然科学家中影响很大。19世纪中期以后,又有一些自然科学家把生命过程归结为一系列的物理化学过程,认为“生理学最终将把生物还原为不可称量的分泌物(发光的以太和电)”^{〔3〕}。对此,恩格斯曾批评说:“生理学当然是有生命的物体的物理学,特别是它的化学,但同时它又不再专门是化学,因为一方面它的活动范围被限制了,另一方面它在这里又升到了更高的阶段。”^{〔4〕}这是对物理化学规律与生物学规律之间关系的深刻揭示。然而问题并未就此全然解决。1911年,德国生物学家海克尔(1834—1919)在汉堡召开第一届国际一元论者会议,一位叫勒布(1859—1924)的美国生物学家在题为“机械论者的生命观”的发言中,再次强调生命现象的各个方面都可以还原为基本的物理化学规律,并且认为这个原理是普遍有效的。至今国际学术界仍在围绕还原论和非还原论等问题进行着争论,而未形成一致的见解。

(三) 机系统论观点

机系统论是美籍奥地利生物学家贝塔朗非在1924—1928年间提出来的。1932年和1934年他又先后发表了《理论生物学》和《现代发

〔1〕 古希腊哲学家亚里士多德用语。意指“完成”、“目的”、“实现”。

〔2〕 胡文耕:《分子生物学中的哲学问题》,天津人民出版社1982年版,第74页。

〔3〕 胡文耕:《分子生物学中的哲学问题》,天津人民出版社1982年版,第73页。

〔4〕 恩格斯:《自然辩证法》,人民出版社1971年版,第234页。

展理论》两部著作，对其机体系统论进行了详细阐释。其基本内容有三：（1）一切生物都是在时空上有限的具有复杂结构的自然系统，生物体的各个要素不能离开生物体本身而独立存在，因而对于生命现象也不能用简单分解和简单相加的办法去解释。（2）一切生命系统本身都处于积极的活动状态，并随时与环境发生着物质、能量交换关系。（3）一切生命系统都具有严格的等级组织，生物学的主要目标就在于发现生物各个层次上的组织原理。

由于这种机体系统论的观点比较科学地描述和解释了生命的某些基本特征，因而逐渐得到了学术界的广泛承认。后来，其他领域的科学家发现机体系统论的原则同样适用于本科学部门的研究，尤其适用于近几十年发展起来的、以复杂事物为研究对象的所谓“大科学”的研究（例如宇航科学、环境科学、管理科学等），于是各种各样的系统理论就很快提出并发展起来了。在此基础上，贝塔朗菲又对众多的系统理论进行了科学的总结和概括，终于制定了“一般系统论”。并且提出：“系统的定义可以确定为处于一定的相互关系中并与环境发生关系的各组成部分的总体。”^{〔1〕}“‘整体大于它的各部分的总和’是基本的系统问题的一种表述。”^{〔2〕}这样，早在19世纪就已初步形成的系统思想也就终于找到自己最恰当的理论表现形式——系统理论的形式了。目前，这个理论正日益深入到科学研究和实践中，成为人们认识世界和改造世界的有力思想武器。

第二节 什么是系统

一、系统定义

系统一词早在古希腊就已出现。原意是指复杂事物的总体。近代一些科学家和哲学家常用系统一词来表示复杂的具有一定结构的研究对象，如天体系统、人体系统，等等。但究竟何为系统？却从未有人给予明确的答复。系统论诞生以后，有关系统的定义多起来了，但这些定义又大都具有两个缺点之一：

（一）抽象不足，缺乏普遍性

如苏联学者乌耶莫夫（А·Н·уемов）曾给系统下过这样一个定义：“系

〔1〕 贝塔朗菲：“普通系统论的历史与现状”，《科学学译文集》，科学出版社1981年版，第315页。

〔2〕 贝塔朗菲：“普通系统论的历史与现状”，《科学学译文集》，科学出版社1981年版，第305页。

统乃是具有事先对于某个确定的性质 P 给出的关系 R 的元素的集合 m , 系统可以用数学公式表示为

$$(m) S = df [R(m)] P^{[1]}$$

这实际上是一个数学中集合论的定义。还有一个学者这样讲过:“系统是有生命的或无生命的本质或事物的集中, 这个集中接收某种输入, 并按照这输入来活动以生成某种输出, 同时力求使一定的输入和输出功能最大化。”^[2] 这实际上又是一个控制系统的定义了。上述两个系统定义在其各自适用范围内都是正确的, 但它们并不具有最大的普遍性, 因而也不可能做为一般系统定义而为人们接受, 例如对于那些非数学系统和非控制系统而言, 它们就不再适用了。实际上, 贝塔朗非也早就指出:“有许多系统问题, 它们的解答需要一种不能用现代数学概念去表达的理论。”^[3]

(二) 抽象太过, 缺乏具体性

这类系统定义具有很高的概括性, 反映了一切系统的共同特征, 但其抽象得又太过分了, 没有把系统的所有共同特征或至少是主要特征都概括出来, 因而使这些定义具有一般化的缺陷。如国内有人这样给系统下定义: 系统是由部分组成的整体。这个定义对不对? 对! 但不完全。系统不仅是一个整体, 而且是具有一定层次和结构并处于一定环境中的整体。如果只停留在整体性上, 就把系统的其他特性给抹杀了, 用这样的观点去指导人们对客观事物的认识 and 改造, 那是不能称之为系统方法的。因此, 笔者以为要给系统下一个科学的定义必须注意两个原则: (1) 要使这个定义具有最高的概括性和最大的普遍性, 能反映出所有系统的共同本质和特征; (2) 这个定义要能反映出系统之所以为系统的所有特征, 或至少是其主要的特征。否则, 就会使人们陷入对系统概念的一般化理解而划不清与其他概念的界限。

究竟什么是系统呢?

我认为, 所谓系统就是指由一定部分(要素)组成的具有一定层次和结构并与环境发生关系的整体。例如, 太阳系是由太阳和九大行星所组成的整体, 太阳系具有一定的层次和结构(太阳居中, 九大行星按各自轨道围绕太阳运行)并处于银河系的环境中, 因而太阳系是一个系统。原子是由原子核和核外电子构成的整体, 它也有一定的层次和结构, 并处于一定的电磁环境

[1] 《自然辩证法通讯》, 1981年第5期, 第78页。

[2] 《自然辩证法通讯》, 1981年第5期, 第78页。

[3] 贝塔朗非:“普通系统论的历史和现状”,《科学学译文集》, 科学出版社1981年版, 第313页。

中，因而原子也是一个系统。一个国家的政府也是系统：它由各个部门所组成，这些部门之间具有一定的关系形式即结构，任何政府都处于一定的社会经济、政治和文化环境中。甚至一个家庭也是一个系统：它至少由夫妻二人构成，具有一定的内在联系形式，并与整个社会发生着各种经济、文化关系。总而言之，自然界、人类社会和思维领域的诸种事物都可以看成是一些系统，系统范畴具有普遍性。

二、系统属性

（一）整体性

整体性是系统的一个主要特性。贝塔朗菲在阐发系统思想时多次指出：系统论是对整体和完整性的科学探索。所谓整体性包括两方面含义：其一是指系统内部的不可分割性，如果把系统的各个组成部分分割开了，系统也就无法存在了。例如，一株玉米作为一个系统是有整体性的，因为构成它的根、茎、叶三部分是不可分割地有机联系着的，若把其三部分断开，则其也就不成为玉米了；一架机器作为一个系统，也在于它是一个由各个部件紧密联系而成的整体，若把各零部件拆开存放，则这架机器也就无法再存在；作为某一社会组织系统也是如此，它的整体性在于各组织成员之间的密切联系、相互配合，如果各成员独自行事，互不联系，则其作为社会组织系统也就只能是形存实亡或干脆宣布解散了。列宁也曾指出：“在这个由一整块钢铸成的马克思主义哲学中，决不可去掉任何一个基本前提、任何一个重要部分，不然就会离开客观真理，……。”^{〔1〕}这是对马克思主义哲学系统之整体性的说明；其二是指系统内部的关联性。就是说，系统内部任何一个要素的改变都会引起其他要素的变化。例如，巴西一只蝴蝶煽动一下翅膀可能引起美国德克萨斯州的一场龙卷风；自然界中任何一种物种的减少都会引起其他物种的减少，这是生物连效应；在人体中，某一器官的病变也会引起其他器官的损害，如此等等。

1. 系统整体性的类型。

系统整体性有三种基本类型：

（1）空间整体性。指系统要素在空间上的不可分割性和关联性。例如太阳系的整体性、房屋的整体性、机器的整体性皆如此。

（2）时间的整体性。指系统要素在时间上的不可分性和关联性。例如人的一生是由幼年、少年、青年、壮年、更年、老年等阶段构成的整体，其间任

〔1〕《列宁选集》，第2卷，人民出版社1995年版，第221页。

何一个阶段都是不可或缺的（非正常情况例外）；一出戏亦是由开始部分、中间部分、结尾部分构成的整体，所以人们在看戏时应从开始一直看到最后，才能获得对该戏的整体性认识。

（3）逻辑整体性。指系统要素在逻辑上的不可分性和关联性。例如一道完整的几何题证明过程就是由一系列的因果关系环节所组成的整体，若其中一个环节缺失，则证明就会出现错误，我国数学家陈景润对哥德巴赫猜想的证明过程就是一个严密的逻辑整体。又如一部好的学术著作也是一个逻辑整体，它的各个论点之间以及论点和论据之间都是不可分的。

2. 整体性在系统中的地位。

（1）整体是系统的核心。任何系统都是直接在整体的基础上形成的，无整体则无系统，抛弃了整体性也就抛弃了系统性。所以，贝塔朗非说：“普通系统论是对‘整体’和‘完整性’的科学探索。”〔1〕

（2）整体性变化会导致系统性能的改变。由于整体性是系统的核心属性，因而整体性一旦改变则必然引起整个系统性能的变化。例如整体性强的房屋系统，其抗震性能也强，反之则差；军事系统的战斗力较强，而群众组织的战斗力较差，因为其整体性的强弱不一样；有些文章的整体性强，因而说服力也强，反之则差。如此等等。

（3）整体 $\neq$ 系统。由于整体性是系统的核心属性，因而一些人便将整体与系统等同起来，把二者当成一回事，其实这是不对的。系统的核心是整体，但系统并不就是整体，二者的区别在于：系统并非孤立的整体，而是与环境联系着的整体，因而系统乃是整体与环境的统一。忽视这一点就没有抓住系统的本质特征。

（二）综合性

所谓综合性就是指任何系统都不是由单一要素、单一层次、单一结构、单一环境因素、单一功能构成的总体，而是由不同质的要素、层次结构、环境和功能因素构成的总体。

系统综合性表现为五种情况：

1. 不同要素的综合。例如生态系统表现为动物、植物、微生物的综合；学校系统表现为行政部门、教务部门、后勤部门、学生管理部门的综合；现代企业制度系统则是“政企分开、产权清晰、权责明确、管理科学”等四大要件的综合；打假治劣系统则是法律制裁、行政监督、教育宣传、制度建设、技

〔1〕 贝塔朗非：“普通系统论的历史与现状”，《科学与译文集》，科学出版社1981年版，第314页。

术升级、质量认证、品牌工程等手段的综合；我国的民主革命制是由资产阶级领导的旧民主革命和由无产阶级领导的新民主主义革命两个阶段构成的，如此等等。

2. 不同层次的综合。如天体系统即是这样：从空间上说有星系、星团、恒星等层次，从时间上说则有老年星系、中年星系、新生星系等层次。

3. 不同结构的综合。例如，国家作为一个系统，其内部既有政治结构、又有经济结构、还有文化结构；一个企业系统内部既有资本结构、人才结构，又有技术结构、管理结构；一棵树作为一个系统，其内部既有力学结构、又有化学结构、还有生物结构；人体系统则有骨骼结构，肌肉结构、血管结构、神经结构等等。总之，系统的结构也是综合的。

4. 环境因素的综合。例如生物系统的环境因素就包括无机环境和有机环境两大类；人类生存环境则由自然环境和社会环境构成。

5. 不同功能的综合。例如长江三峡水利工程的功能由防洪、发电、灌溉、通航、旅游等多方面构成，等等。

系统虽然都有综合性，然而其综合程度并不一样，有些系统综合程度很高，有些系统则综合程度较低。如以高等学校而言：最高的综合性表现为理、工、农、医、文、史、哲、政、法等各科都有；次级的综合性大学则表现为某几个学科的综合，诸如文理综合、理工综合等；还有的综合性大学只表现为学科内的综合，如文科综合大学、政法科综合大学等。

实践表明，系统综合程度不同，系统功能也会有别。一般而言，系统综合性越强，系统生命力就越强，系统功能就越高。例如，在自然界中，杂食动物比单食动物的生命力要强些，其适应环境的能力也更高些，杂交作物也比一般纯种作物的生长要旺盛些，抗病虫害能力要强些。在人类社会中也这样：例如多兵种联合作战比单兵种作战取胜的可能性更大些，目前世界上对科学和社会发展作出重大贡献的大学，多是综合性极高的大学，也正因为如此，我国目前各大学都在纷纷走综合办学的道路。

（三）层次性

层次性是系统的又一重要特性。所谓层次通常是指构成系统的要素之间按照整体与部分的构成关系而形成的不同质态的分系统及其排列次序。系统的层次通常可划分为四种类型：

1. 数量关系层次。例如 10 这个数字是一个整体，我们可以把它看成是由两个 5 构成的，这就是其第二个层次；而 5 这个数字又是由 3 和 2 这两个数字构成的，这已是第三个层次的组成部分了，如此等等。又如军事系统中有军、

师、旅、团、营、连、排、班等层次，不同层次之间战斗人员的数量不一样。

2. 空间关系层次。如根据自然科学中物质结构理论，物理学家们将微观以下的物质粒子分为分子、原子、基本粒子、夸克子（层子）等层次，生物学家则把生物系统内部的构成要素分为系统、器官、组织、细胞、生物大分子等层次。而上述不同层次的物质形态之间是都有着空间上的构成关系的。

3. 时间关系层次。如中国共产党领导的革命包括新民主主义革命和社会主义革命两个阶段——这是中国现代革命构成的第一个层次，而在新民主主义革命之下又包括四个时期：第一次大革命、土地革命、抗日战争、解放战争，这是中国现代革命构成的第二个层次。又如人的一生可分为青少年、壮年、老年三个过程，这是一个层次，而在每个过程中又可以分为若干个生命周期，其中每一个生命周期都是七的倍数，这是构成生命的第二个层次。

4. 逻辑关系层次。例如一个大部头学术著作一般都有篇一章一节一目等层次，高层次包含着低层次的内容；在生物学方面有类、种、属的划分，这也是一种层次，各层次之间是有着逻辑构成关系的。

层次的形成既然以整体和部分的对立为基础，因而不同层次之间也就必然存在着质和量的差异并且发生相互作用。例如，微观世界中的分子、原子、基本粒子这三个层次无论在物理化学性质还是在质量和空间尺度方面都是相异的。层次之间的相互作用则主要表现在两个方面：其一是系统的较高层次制约着较低层次，高层次的功能状态对低层次的功能状态发生重要影响。如战争中团级领导（代表整体）的指挥不力，其下级作战组织的功能也就很难发挥出来。其二是系统较低层次又是较高层次形成的基础，低层次物质变化到一定程度必然导致高层次的物质变化，例如战争中营、连、排、班等下级单位严重缺员，势必影响到整个团的作战能力。总之，系统内不同层次之间的关系是既对立又统一的。

为了正确把握层次概念。有必要搞清它与等级、类型以及要素的区别和联系。

首先，层次与等级是有区别的。等级性体现的主要是事物间量的差别，如地震有一级、二级、三级、四级等级别之分，这主要是根据地震的烈度而定的。在举重比赛中也有重量级与轻量级之别，这是根据举重运动员本身的重量来划分的。而层次性则主要体现的是事物在质上的差别。如细胞和组织这两个生物层次就存在着质的不同。此外，在等级与等级之间不一定存在整体与部分的关系，然而在层次与层次之间是一定存在整体与部分之关系的。否则，就不可能形成层次。那么，层次与等级之间是否也有某种联系呢？当然有。由于不同层次之间不仅有质的差异，而且有量的不同，因而导致不同层次之间会出现

等级特征。例如，星系和恒星这两个不同的天体层次就具有以不同的空间尺度、质量为基础的等级特点（图-1）。但是话却不能反过来说：认为不同等级的事物就一定属于不同的层次。正如说“人有两条腿”，但不能说“有两条腿的动物都是人”一样。例如恒星和行星是处于不同等级上的宇宙物体，但其相互之间并不具有层次关系，我们不能说，恒星是由行星构成的。总之，层次是反映不同质的系统之间相互关系的一个概念，而等级一词则主要用于表示具有共性的事物之间的数量关系，二者虽然有时重合，但它们之间是不能划等号的。

等 级	质量范围（克）	尺度范围（厘米）
星 系	$10^{38} \sim 10^{45}$	$10^{20} \sim 10^{23}$
恒 星	$10^{32} \sim 10^{35}$	$10^6 \sim 10^{14}$
行 星	$10^{24} \sim 10^{30}$	$10^8 \sim 10^{10}$
地上物体	$10^{16} \sim 10^{24}$	$10^{-5} \sim 10^7$
分 子	$10^{-22} \sim 10^{-15}$	$10^{-8} \sim 10^{-6}$
原 子	$10^{-23} \sim 10^{-21}$	$10^{-8} \sim 10^{-7}$
原 子 核	$10^{-23} \sim 10^{-21}$	$10^{-13} \sim 10^{-12}$
基本粒子	$0 \sim 10^{-23}$	10^{-13}

图-1 自然界物质等级的质量范围和尺度范围

其次，层次与类别也是相互区别的。不同层次事物之间存在着整体与部分的构成关系，而不同种类的事物之间则不一定存在这种关系。例如，社会主义社会与资本主义社会是两种根本不同类型的社会，但它们之间并不存在整体和部分之间的关系。同一层次的事物可以划分为不同的类，例如在血液循环系统中，白血球与红血球都处于细胞这个层次，但它们却属于不同的细胞类型。同一类型的事物也可以处于不同的层次，如分子、原子、基本粒子都属于微观粒子，但它们却是不同层次上的微观粒子。由此可见，层次与类型也不是一回事。有一种观点认为：事物的各种不同类别或类型是纵向划分的层次。我认为这种认识也是不能同意的。实际上，层次本来就是系统在纵向意义上的一种差别，但它又是和种类差别根本不同的。这里的关键还是在于：不同种类之间不一定存在整体与部分之关系。

层次与类别虽有差异，但它们亦有相似或相互联系之处。（1）物质系统的层次差别有时与类型划分相重合。这也就是说，同一层次的要素往往具有很

多共性，因而属于同一类型。而同一类型的事物也往往与另一类型的事物发生整体与部分的关系，因而属于同一层次。例如，人体中的红细胞和白细胞既同属细胞这一层次，又同属细胞这一类型。反过来也一样：不同层次的要素往往属于不同类型，而不同类型的要素也往往属于不同的层次。例如分子、原子、基本粒子是已知微观世界的三种不同粒子，同时它们又处于不同的微观层次上。(2) 无论层次或类型都是有限与无限的对立统一。一方面，就整个世界而言，无论层次或是类型都是无限的；另一方面，就个别事物来说，无论层次还是类型又都是有限的。由此可见，物质世界的层次和类型并非绝对地对立着，而是亦有共性并在一定条件下可以相互转化的。

再次，在把握层次这个概念时，其与要素的关系也是必须搞清的。层次是指构成系统的要素在纵向上的不同质态及其排列次序，它形成系统的纵向结构；而要素则是构成系统的各个单元，这些单元相互联系、相互作用，形成系统的横向结构。层次的形成以要素为基础，构成系统的要素不同，其层次性必然有差别；反过来，要素又总是存在于一定层次之中的，层次不同，其要素也必然相异。

(四) 结构性

构成系统的各个层次和要素之间并非是互不相干的，而是相互联系、相互作用着的，这种相互联系、相互作用的总体表现方式就是系统结构。例如在太阳系中，太阳在中间，九大行星一层一层地在外边绕它运转，其顺序是：水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星，这就是太阳系的整体结构（图-2）。地球也有一定结构：表层部分是地壳，平均厚度 35 公里；再往里是地幔，平均厚度为 35 公里~2900 公里；中心部分是地核，处在 2900 公里以下（图-3）。人类社会则是由生产力、生产关系、上层建筑三部分构成的统一整体，这三部分之间的联系形式为：生产力决定生产关系，生产关系决定上层建筑；而上层建筑也反作用于生产关系，生产关系也反作用于生产力。这就是人类社会的结构。如果把人类社会比喻为一棵树，则生产力是树根，生产关系是树干，上层建筑则为树冠（图-4）。作为任何一种思想体系也都是有一定结构的，以马克思主义而言，它主要由马克思主义哲学、马克思主义政治经济学和科学社会主义三部分构成，其中马克思主义哲学是思想指导，马克思主义政治经济学则是基石，科学社会主义学说则是核心。总之，一切系统都有一定的结构。

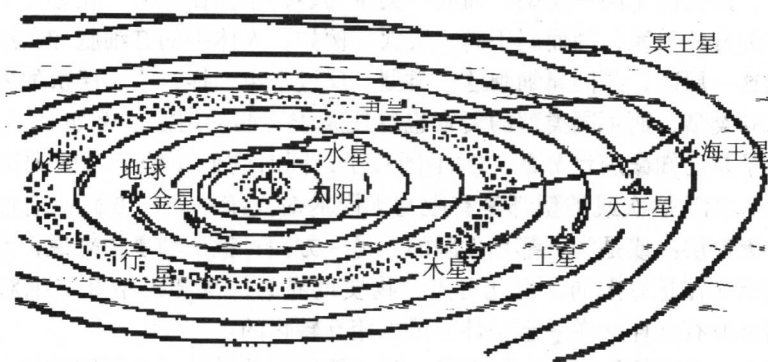


图-2 太阳系的结构示意图

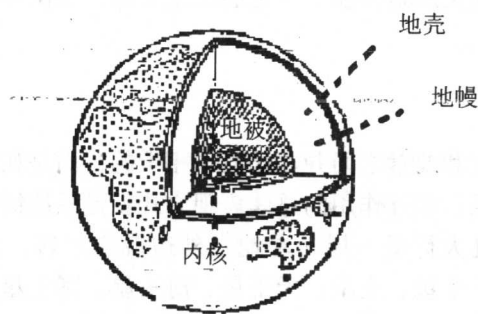


图-3 地球内部的圈层结构示意图

结构具有多种不同的形式。其基本形式有：

数量结构。即由构成系统的各个要素在数量比例关系方面所表现出来的联结方式。例如，水分子内部的数量结构是氢2氧1，中药丸剂或汤剂也都有一定比例的配方，在社会经济的发展过程中，其中各个部门之间也是遵循着一定数量比例关系的，高等学校内部不同职称的教师之间也有一定的数量关系，如此等等都属于系统的数量结构。

时序结构。即构成系统的各要素在时间顺序方面表现出来的联结形式。如人类社会发展过程的时序结构为：原始社会→奴隶社会→封建社会→资本主义

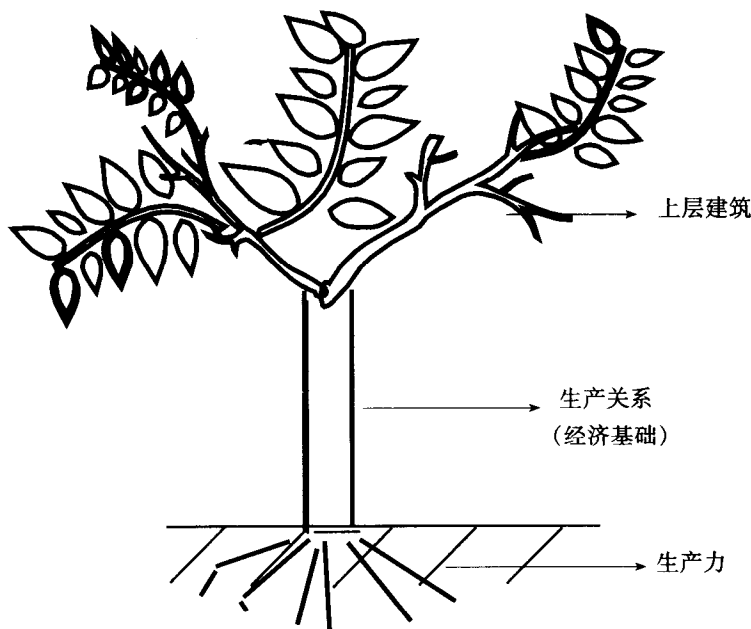


图-4 人类社会的结构示意图

社会→社会主义社会→共产主义社会。蚕在发育过程中表现出来的时序结构为：卵→虫→蛹→蛾。由各道工序组成的生产过程则属于生产的时序结构。

空间结构。即构成系统的各要素在空间关系方面所表现出来的联结形式。如前面所讲的太阳系结构以及地球内部的结构等均属系统的空间结构。

逻辑结构。即构成系统的各要素按一定逻辑关系形成的联结形式。如一本书的篇章结构就属于逻辑结构，一次报告也应有一定逻辑结构：先讲什么，后讲什么，再讲什么，最后归结为一点。无论写文章还是讲话，都应注意逻辑结构，否则效果会不好。

除了把结构划分为上述三种形式以外，还可以把结构划分为平衡结构与非平衡结构、有序结构与非有序结构等形式。平衡结构是一种相对稳定的结构，如晶体结构就属于平衡结构。非平衡结构本质上是一种动态结构，如濒临倒塌的房屋结构就是一种非平衡结构；从下面加热一壶水时，水的各个部分由于温度不同而形成的结构也是非平衡结构。至于有序结构与非有序结构的划分则主要是以系统内有无固定的秩序为标志的。总之，一切系统均有结构。在把握系统内部结构特征时还应注意：任何一个系统的结构都是多方面、多层次的。人们只能根据需求和认识条件去揭示系统的一种或几种结构形式，但却永远不能把系统的内部结构都认识完。

（五）环境关联性

任何系统都处于一定的环境中，并与环境发生着物质、能量或信息交换关系，脱离一定环境的系统是不存在的。

什么是环境？所谓环境是指系统整体存在和发展的全部条件的总和。其中，与系统整体有关的外在条件的总和称为系统外环境，而与系统整体有关的内在条件的总和称为系统内环境。例如，由大气、阳光、水分等条件构成的总和就属于人体的外环境，而由各种组织液构成的细胞外液则属于人体的内环境。对于一个学校而言，各种社会政治、经济、文化条件属于其外部环境，而学校内部的教学秩序、气氛等因素则属于学校的内环境。事实说明，无论是内环境还是外环境对于系统整体的存在和发展都是十分重要的，都是不可须臾离开的。

环境是构成系统的内在因素还是外在因素？我认为是内在因素。（1）这是由于系统范畴的本质规定决定的。贝塔朗非指出：“系统的定义可以确定为处于一定的相互关系中并与环境发生关系的各组成部分（要素）的总体（集）”。^{〔1〕}很显然，不与环境发生关系的总体是不能称之为系统的，这样的事物总体也是根本不存在的。（2）这也是由于系统的发展规律决定的。所谓系统规律就是指系统的发展是整体与部分、整体与层次、整体与结构、整体与环境的相互作用过程，离开了任何一种相互作用（包括整体与环境的相互作用），系统运动都将成为不可能。

（六）功能性

任何系统都有一定的功能。什么是功能？所谓功能就是指系统整体对环境的作用或影响。其中，系统整体对外在环境的作用或影响称为系统的外部功能，简称外功能；系统整体对内在环境的作用或影响称为系统的内部功能，简称内功能。例如，生命系统的外部功能是利用与改变外部自然环境（如森林系统可以调节气候等），而其内部功能则是调节与改变内在环境以保持生命活动的正常进行（如人体内的温度调节功能等）；国家的对外功能是利用与改变各种国际社会环境，如进行国际交往、反对他国侵略等，而其国内功能则主要是通过管理和镇压手段以维护一定的社会秩序，使统治阶级得以实行统治。一个系统的内外功能又是相互作用着的：一般说来，内部功能是外部功能的基础，内部功能的状况决定着外部功能的状况。例如，人体内部器官功能正常，

〔1〕《科学学译文集》，中国社会科学院情报研究所编译，科学出版社1981年版，第315页。

人也就能正常学习和工作，否则就会因生病而受到影响，又如国家内部各部门功能正常，国家对外交往亦能正常进行，而如果内部腐败、管理混乱，则对外必然陷入被动挨打的境地。但外部功能对内部功能亦有反作用，外部功能的发挥会刺激内部功能的提高和进一步完善化。例如，人在劳动或锻炼身体时，会促使内部器官功能的增强（心脏增加供血量、肺部增加供氧量等），又如国家出口贸易的增加会刺激国内各部门增强生产能力，对外战争的需要也会促进国内各部门工作的强化，等等。

系统功能受着系统结构和环境状况的制约：其中，系统结构是其功能存在的基础，离开结构的功能是不存在的；环境则是系统功能实现的必要条件，缺少一定的环境，系统就会无用武之地，发挥不出任何功能。在日常工作中，人们常见到这样的情况：某人在特定时间、特定地点发挥不出什么作用，但若换一个时间和地点却可以大有作为，其情形盖由环境使然。

实践表明，由于系统内部和外部关系的无限性，因而无论是系统内功能还是外功能都具有多样化特征。以国家系统而言，外部功能有政治、经济、文化等方面，内部功能也是这样；再以大学而言，其功能主要有：新知识、新观念的生产源头，科学研究的基础，知识扩散的重要环节，创造性人才培养的场所，高新技术应用的摇篮，文化继承与发展的中心，政府目标实现的有力辅助，等等。因此，我们在考察系统功能时，不要太死板、太简单化，而要多角度地发掘系统的功能。现在不是讲技术开发吗？系统功能的开发是非常重要的，一种技术开发，而这一点目前很少为人们注意。

总而言之，系统具有整体性、综合性、层次性、结构性、环境关联性以及功能性等六大特征。我们要正确认识一个系统，就应该把上述六个特征搞清楚，也只有在这之后，才谈得上对系统的有效改造。

三、系统分类

系统分类是一个较复杂的问题，直至现在尚未形成一个比较统一的分类法。这主要是由于人们对系统问题的研究尚不够深入，而以改造系统为对象的实践活动亦不够广泛之故。

下面介绍几种常规的分类方法。

（一）根据系统的属性和运动方式来分类

首先，我们可以根据系统的哲学属性将其分为物质系统、精神系统、实践系统三大类，每一类系统又可往下做无穷划分；其次，还可以根据系统的次哲学属性将其分为自然系统、社会系统、思维系统，每种系统同样可以往下继续

划分；再次，还可以根据系统的运动方式将其分为机械系统、物理系统、化学系统、生命系统、社会系统、思维系统六类，每类系统仍可继续往下划分，如物理系统可以分为声、光、电、磁、热系统等。此外，按照这种分类方法，还可将系统划分为单纯系统和复合系统两种类型，如国家则属于纯社会系统，而生产方式系统则属于自然——社会的复合系统，人类全体也是复合系统，它由自然——社会——思维三个要素构成。

（二）根据系统整体与环境的关系来分类

这样可以把系统分为开放系统、封闭系统两类。所谓开放系统是指系统整体与环境间存在物质、能量、信息交换关系的系统，如生命系统、城市系统、教育系统、马列主义理论系统等都属于开放系统。封闭系统则是指系统整体与环境之间不存在物质、能量、信息交换的系统。^{〔1〕}如一块石头、一截木棒、一块铁板等在一定条件下都是不与自然环境发生物质、能量、信息交换关系的，因而可称之为封闭系统。某些居住在极偏远地区的人类群体也可以被视为封闭的社会系统，因为他们与现代社会没有任何交往。但是要注意：这里所说的封闭系统都是相对的，而不是绝对的。实际上，一切系统都总是与环境之间存在着或多或少的交换关系，人们平常所说的封闭系统不过指的是与环境交换的内容极少因而不明显的状况罢了。

（三）根据系统内部的要素、层次、结构的特点来分类

如果一系统内部构成的要素、层次众多、时空跨度又大，我们则可以称之为大系统（如银河系、超重元素的原子等），反之则可称之为小系统（如太阳系、较轻元素的原子等）；如果一系统内部的结构极为复杂，我们又可以将其称之为复杂系统（如生命系统、社会系统等），反之则可称之为简单系统（如家庭）；如果一系统内部构成的要素、层次既多，而结构又复杂，我们则可称之为巨系统，如据估计人脑中有1500多亿个神经元，结构极为复杂，所以人脑常被科学工作者称之为巨系统。此外，根据系统的结构特性，还可将其分为自组织系统（如生命系统）和他组织系统（如军事系统）；有序系统与无序（低有序）系统；静态系统与动态系统，等等。

〔1〕 这里所说的封闭系统与耗散结构理论中所讲的封闭系统不是同一概念。后者指与外界环境只有能量交换而无物质交换的系统。

(四) 根据系统与人类主体的关系来分类

这样可以将系统划分为可控系统（如机械系统、物理系统、化学系统、生命系统、社会系统等）与非可控系统（如天体系统等）；有价值的系统与无价值或具有负价值的系统等等。

第三节 系统内部的基本关系

通过对上一节内容的学习，我们已对什么是系统有了一个初步认识。但要进一步把握系统范畴，还必须深入分析其内部的各种关系以及这些关系在系统发展中的地位 and 影响。

系统关系十分复杂，但概括起来，主要有如下四个方面。

一、整体与部分的关系

整体与部分的关系是系统中最基本的关系，这一关系的内容是很多的，系统论则主要强调三个方面：

（一）整体 > 部分之和

已知整体与部分之和的关系有三：一是整体 = 部分之和，如 $2 + 2 = 4$ ；二是整体 < 部分之和，如过去有所谓“一个和尚挑水吃，二个和尚抬水吃，三个和尚没水吃”之说，就是符合这个道理的。三是整体 > 部分之和。系统论则强调整体 > 部分之和。

所谓整体 > 部分之和包括两方面含义：其一指系统整体的性质大于其各个部分性质的机械相加和。例如，水分子的性质是大于构成其氢元素和氧元素性质的机械相加和的：水分子在常温常压下是液态，而氢氧二元素在常温常压下则是气态，气态加气态 $\neq$ 液态。又如，生命系统是由骨骼、肌肉、血液等要素构成的，然而，生命系统的特性绝不是这些要素性质的机械相加和，而是大于这种相加和。正如恩格斯所说：“无论是骨、血、肌肉，细胞纤维组织等等的机械组合，或是各种元素的化学组合，都不表示某个动物。”^{〔1〕} 其二是指系统整体的功能大于其各个部分的功能之机械相加和。马克思在《经济学手稿》中指出：“100 个工人通过协作在一天中所干的活，不仅一个单个工人干 100

〔1〕《马克思恩格斯选集》，第4卷，人民出版社1995年版，第321页。

天干不了，而且常常 100 个单个工人干 100 天也干不了。”^{〔1〕} 在这里，100 个工人的协作就形成了一个劳动力系统，这个系统整体的功能是大大超过 100 个单个工人功能的机械相加和的。又如在科学研究中也是这样：科学家们搞单干，谁也搞不出原子弹和人造卫星来，然而很多科学家、工程师合作，就能搞出这些产品。总之，整体大于部分之和是系统论中的一个非常重要的思想。贝塔朗非指出：“整体大于它的各部分的总和，是基本的系统问题的一种表述。”^{〔2〕} 实际上，它乃是系统理论的核心与精髓，不懂得这一道理，就等于抛弃了系统理论。

（二）整体制约部分

所谓整体制约部分，主要指以下两种情况：（1）整体决定着部分的性质和功能，部分若脱离了整体，其性质和功能使会丧失。例如 0 是什么？如果将其孤立起来看，这是很难确定的，然而，如果将其放在特定的整体中，则其是什么的问题便可以很容易确定了：在数学中，它念零；在化学中，它念氧；而在英文字母表中，它念“欧”。又如一个领袖人物，只有在一个社会组织整体中，才能发挥出巨大作用，一旦其脱离社会组织整体，其领袖作用便难以发挥出来了。（2）整体的存在和发展决定着部分的存在和发展，整体功能一旦丧失，部分也就会随之灭亡。例如，动物的四肢及其各个器官只有在动物体中才能存在，也只有随着整个动物肌体的发展才能得到发展。动物一旦死亡，其四肢和器官也就会随之腐烂、变质了（当然有一个过程），达尔文曾把这一点叫做“生长相关律”。现在搞器官移植也是这样：健康的器官在死人身上没用了，取下来接到活人身上，会使其继续存在并发挥作用，又统计，我国目前科技成果转化率比较低，有的地方还不足 20%，原因固然很多，但其中一个非常重要原因便是科学研究脱离生产和市场需要，没有形成一个科研——生产——市场的有机整体，结果科研成果出来了，但是企业不知道或者不需要，因而无人问津，成果只好锁在专利局的柜子里。（3）整体制约部分表现在系统工程实践中就是要根据整体需要来安排和组织部分。人们日常讲的“大道理管着小道理”也就是这个意思。

（三）部分反作用于整体

整体制约、统帅部分，这是系统论中关于整体与部分关系的主要内容，对

〔1〕《马克思恩格斯全集》，第 47 卷，人民出版社 1972 年版，第 293～294 页。

〔2〕贝塔朗非：“普通系统文化论的历史和现状”，《科学学译文集》，科学出版社 1981 年版，第 305 页。

此应着重加以领会和把握。然而，系统论还认为，部分也不是消极无为的，它的存在和发展对系统整体也有重大影响。首先，部分是系统整体存在的基础，如果把各个部分去掉，整体也就化为乌有了。其次，组成部分的数量变化会导致系统整体的改变。例如水银（元素序号为80）的原子核中若失去一个中子则会变成黄金（元素序号为79），而黄金与水银的物理化学性质有很多是不同的（日本科学家曾根据此原理用1.34吨水银制成74公斤黄金）。事实也说明，构成系统整体的要素愈多（包括要素的种类），其系统也就愈复杂。再次，组成部分的质变对系统整体及功能亦有重要影响。例如，电视机的某一元件坏了，图像显示可能就不清楚了，如果是关键元件损坏（如显像管损坏），那就根本收不到图像。反之，如果电视机零件的质量有了较大提高，则整个电视机的收视效果也会随之增强。其实，部分与整体的这种关系与唯物辩证法的矛盾学说也是一致的。毛泽东指出：“事物的性质主要地是由取得支配地位的矛盾的主要方面所规定的。取得支配地位的矛盾的主要方面起了变化，事物的性质也就随着起变化。”^{〔1〕}在这里，事物的性质也就是矛盾系统整体的性质，而主要矛盾和矛盾的主要方面实际也是构成矛盾系统整体的部分。

总而言之，整体与部分的关系是系统中的基本关系，而整体 > 部分之和则是这一关系的核心内容。

二、整体与层次的关系

整体是由部分构成的，而部分又是由更小的部分构成的，反之亦然，这种情况就导致系统整体具有层次特点。由此可见，整体同层次的关系是以整体同部分的关系为基础的。具体可概括为如下几方面：

（一）整体制约着层次

一般说来，有什么样的整体，就有什么样的层次，整体愈高级，功能愈复杂，构成层次也就会愈多。例如，高等动物就比低等动物具有较多的层次，社会化大生产就比一家一户的小生产具有更多的层次，一颗导弹的层次就比一颗普通炮弹的层次多得多。什么原因呢？这是由于：高等动物、社会化大生产、导弹等都是由众多要素构成的系统，而构成要素愈多，则愈需建立多级控制机构，否则，系统就会陷入混乱。可见，系统层次的增加乃是系统自身进化、发展的必然结果。此外，整体对层次的制约还表现在功能方面：整体功能的发挥是各个层次功能发挥的基本条件。如有机体的生命功能一旦丧失，则其系统、

〔1〕《毛泽东选集》，第1卷，人民出版社1991年版，第323页。

器官、组织等层次的功能也就难以维持下去了；反之，整个机体生命功能的增强也会促进各个层次功能的增强，正因如此，加强身体锻炼能提高体内各个层次组成部分的健康水平，这也正是中医治病的一个重要理论根据。

（二）层次对系统整体也有重要作用

首先，层次数量的变化对系统整体功能有重要影响。例如一个社会管理系统需设五个管理层次方能发挥出最佳功能，而你实际上设置了七个或三个管理层次，则必然影响其管理效率。因为在前一种情况下势必增加信息传输的时间，甚至会使信息在传递中发生丢失现象；而在后一种情况下，则又势必会加重各管理层次的负担，这都会妨碍系统整体处于最佳运行状态。由此亦可看出，一个系统究竟应该有多少层次才能使其功能充分发挥出来，这是有客观规律性的，人们不能任意地予以增加或减少，而只能实事求是地加以研究和确定。

其次，各个层次之间的关系对系统整体功能亦有重要影响。事实说明：构成系统的各个层次之间关系愈协调、联系愈紧密，则系统整体功能也就愈优，否则，就会较差。例如，在行政系统的各个层次中，如果上有政策，下有对策，则该行政系统的效率就不可能很好发挥出来。又如在生产中，如果一个工厂的生产班组这一级工作很认真，生产的零部件质量较高，然而在车间进行局部组装时，工作不认真或技能较低，这样，机器在总体组装起来后，其质量必将受到影响。因此，人们在设计、研制或管理一个系统时，必须注意各个层次之间的关系，尽量使它们相互协调，形成一个紧密联系的整体。

最后，某一层次的质变也必然会导致系统整体功能的丧失。例如，对于一个有机系统，如果在细胞层次上普遍发生了癌变，那很快就会影响到组织或器官，继而会终止整个有机体的生命活动。据有些资料介绍，由于细胞在基因复制过程中的变异，一般人体内部都有 $10^5 \sim 10^7$ 个癌细胞，但由于正常人体内部都有防御功能，所以这些癌细胞随时都会被消灭，然而一旦机体抵抗力降低，出现功能紊乱或失调，淋巴细胞识别和消灭癌细胞的能力就会大大减弱，癌细胞就会迅速增殖，当数量达到 10^{10} 时，癌症就要发生了。又如，在由国务院、省政府、县政府等层次组成的国家行政管理系统中，如果在其中某一层发生了严重问题，则整个行政系统的功能都会受到损害。层次对整体的影响存在着这样的趋势：愈是高一级层次，对整体的影响也就愈大，愈直接。因此，我们在认识和处理系统问题时，一定要注意较高层次的变化对系统整体的影响。

三、整体与结构的关系

整体同结构的关系是系统关系的又一基本内容。搞清这一关系有助于我们深入揭示系统的整体特性及其发展变化的根源，同时，也有利于我们根据系统整体的不同需要而去规划、设计各种人造系统的内部结构，实现结构的最优化。整体同结构的关系主要表现为三方面：

（一）结构是系统整体存在的基础

我们在上一节曾经讲过：任何系统都是作为一个整体而存在的，整体功能大于部分功能之和。然而为什么会这样呢？其关键就是结构在起作用。事实说明，有什么样的结构，就有什么样的系统整体；结构紧凑而合理，系统整体性就强，结构松散而不合理，系统整体性就差；结构一旦解体，整体也就不存在了。在系统中，由于结构联系为相互结合的各种要素提供了新的活动条件，弥补了原来各种要素在孤立状态时的缺陷，因而便形成新的属性和功能。例如，许多人协作产生的力量大于它的单个力量的总和，为什么？马克思在解释这一问题时指出：“劳动者现在是按计划和别人一起进行工作，因此，就把他的个人的限制突破了，把他的共体的力量展开了。”^{〔1〕}当氢元素和氧元素相结合而形成水时的道理也一样。

（二）结构的变化导致系统整体性能的变化

这又有四种情况：

1. 构成整体的要素不变，只是其空间关系发生变化，便会导致整体性能的改变。例如口字在上，木字在下，则组成“呆”字；而木字在上，口字在下，则组成“杏”字。用砖块砌墙也是如此：如果把砖块一叠一叠垒起来，则墙极易倒塌，而使各个砖块相互咬合，则垒起来的墙就十分牢固。中国古代有一句俗话：好钢使在刀刃上。如果把好钢使在刀背上，那就是一把钝刀了。

2. 构成整体的要素不变，只是其时间次序发生变化，亦可导致整体性能的改变。例如，著名的前苏联电影导演普多夫金和库里肖夫曾做过这样一个实验：把三个电影片断（一张微笑的脸，一张惊恐的脸，一把瞄准的手枪）用两种不同顺序剪接起来加以播放。第一种剪接法是：微笑的脸——瞄准的手枪——惊恐的脸；播放效果是揭示了一个懦夫、怕死鬼。第二种剪接法是：惊恐的脸——瞄准的手枪——微笑的脸；播放效果是歌颂了一个英雄。正因为电

〔1〕 马克思：《资本论》，第1卷，人民出版社1963年版，第348页。

影剪接技术如此重要，所以著名导演都十分重视选择电影剪辑师作为自己的亲密合作者。此外，在由诸多项工作组成的管理系统工程中，先做什么工作，后做什么工作，同时做哪些工作，这三者安排得好与不好，对整个工程完成周期的影响是很大的（见第二章第4节“计划评审技术”）。

3. 构成系统整体的要素之间发生数量比例关系的变化亦可导致整体性能的改变。例如，化学中有一类物质叫烷，它们都是由碳（C）和氢（H）两种元素构成的，但如果构成的比例不一样，它们就会形成不同的物质特性：

CH_4 （甲烷），比例 1: 4，常温下气体

C_5H_{12} （戊烷），比例 5: 12，常温下液体

$\text{C}_{18}\text{H}_{38}$ （石蜡），比例 18: 38，常温下固体

又如，国民经济的各个部门之间客观上是有一个数量比例关系的，这个数量比例关系合理，国民经济就能平稳发展，否则，整个经济就会出现失调，造成波动。因此，尽可能正确地把握这种数量比例关系，并采取各种手段使之趋于合理化；乃是宏观调控部门的基本任务。

4. 构成要素之间的相互协调程度对系统整体性能亦有重要影响。例如，一个足球队整体配合得好，就能发挥出最高水平，否则就会使水平受到限制。又如在法律系统中，各个子法相互协同，便可充分发挥法的维护社会秩序的功能，反之，若子法相互矛盾或出现“漏洞”的地方过多，则法的社会功能便难以充分发挥出来。此外，在写文章或者论证某一问题时，如果出现逻辑矛盾，则文章不可能有说服力，论证也不可能成功。总之，如果一个系统的所有要素和层次之间是相互协调、相互配合的，则其系统整体功能就会大，否则就会小。

（三）结构是整体与部分相互联系、相互作用的“中介”

实践表明，整体只有通过结构才能控制部分，支配部分，而部分也只有处于一定结构中，才能反作用于整体。例如，党中央作为全党的代表就是通过一定的组织形式来领导全党（包括每一个党员）的，没有严密的组织性和严格的纪律性，党中央就不可能统一全党的行动。每个党员也只有参加党的一个组织才能对全党发挥作用，如果脱离了党的组织，那他也就不能再对党的整体做出什么贡献。

（四）整体对结构的作用

结构虽然是系统整体存在和发展的基础，但它又是不能不受整体制约的。首先，任何结构都总是一定整体的结构，如分子结构、原子结构、社会结构、

家庭结构等等。离开某一事物的整体，其结构是什么东西，那是无法理解的。其次，结构也随整体特性的变化而变化。例如，有机体一旦丧失生命功能，其内部就立即分解了。一个社会组织一旦完成了自己的历史使命之后，它也会解体。政党、国家将来都得走这条路。现在各级领导班子也是这样：你这届领导班子任期3年，3年期满，目标实现，各成员之间的分工协作即告结束。很多国家的政府一般也都有任期限制，时间一到，任务完成，政府便告解散。总之，任何结构都是适应整体变化需要而诞生的，当一个结构已不再能满足这种要求时，它就要为新的结构所取代了。

四、整体与环境的关系

环境是构成系统的重要因素，它与系统整体之间也是相互联系、相互作用着的。

（一）整体可以调节或改变环境

例如，一盆花放在屋子里，在白天可以给室内增加氧气，减少二氧化碳，这就改善了室内环境；然而到了夜里，它又会吸收氧气，放出二氧化碳，这又于室内环境不利了。近年科学家们发现，有些植物比较特殊，它们白天放出二氧化碳气，而晚间则放出氧气，如仙人掌类植物就是如此。这样一来，我们就可以晚间把仙人掌搬进室内，白天则把它放在外面，以便取其利而避其害。又如，一定的生态环境是由人类总体的活动水平决定的。人类总体活动水平（人口增长、生产规模的扩大）的每一次提高，都必然带来生态环境的改变，所谓绝对不变的生态环境是不可能存在的。总之，系统整体与环境相互联系，相互作用着。马克思曾经指出：“环境的改变和人的活动的一致，只能被看作是并合理地理解为变革的实践。”^{〔1〕}这是对实践系统中人与环境关系的科学说明，它对我们正确理解整体与环境的关系具有重要指导意义。

（二）环境对系统整体的作用

首先，环境是系统整体保持稳定和发展的必要条件。任何系统整体要保持自己的稳定都需要有一定的环境，环境一旦改变，整体就会发生变异或分解为孤立的组成部分。例如，一杯水在常温常压下呈液体状态，而当环境温度降到0℃以下或上升至100℃以上时，这杯水就要改变形态了。动植物的生长发育也都需要一定的环境，如植物一般都是在春天发芽，夏天生长、开花，秋天结

〔1〕《马克思恩格斯选集》，第1卷，人民出版社1995年版，第59页。

果，冬天则处于休眠状态，这就是受气候影响所致。教育事业欲获得稳定的发展，也需要一定的社会环境，如果一个社会中的政治稳定、经济繁荣，则教育事业就能获得大发展；反之，一个社会的政治动乱、经济衰败，则教育事业的发展就会受到影响。此外，作者曾读到过一篇讲纪念碑与纪念性环境关系的文章，其中讲到，纪念碑之所以能产生纪念性效果主要是由特定的环境空间决定的。在不具备纪念性气氛的环境空间中，纪念碑的意义或者丧失，或者被掩埋。如埃及人建造的金字塔是帝王的陵寝，它获得特定的纪念性意义在于建造了包括神道、殿堂、雕塑和陵墓一体的特定空间。人们走进这个环境空间中，感受到的是威慑力和敬仰之情。著名的古代罗马图拉真纪功柱则建在广场的中央，四周都是与歌颂图拉真文治武功相关的市政建筑，构成一个时代特点极鲜明的纪念性环境空间。中国帝王陵的纪念性意义则主要是通过由神道、庙宇、雕刻、墓冢及植被等构成的纪念性环境来达到的。而法国雕塑大师罗丹的《加莱义民》纪念碑之所以不那么成功，原因亦在于环绕纪念碑的空间环境未构成纪念意义所致。总之，一定的环境无论是对于系统整体的存在和发展，抑或是对于系统整体效能的发挥都是具有极重要意义的。

其次，环境可以加速或延缓系统整体的发展。如果环境条件比较好，适合系统整体发展的需要，则系统整体就能迅速发展起来，反之，系统整体发展就会十分缓慢。例如地理环境对于一个国家和地区发展的影响就是这样的：大凡沿海国家和地区都发展得相对快些（如英国、西班牙等），而内陆国家和地区则发展的缓慢些（如不丹、尼泊尔等）。又如市场环境对企业运行的影响也是很大的：市场环境好，企业发展就快，否则就慢；我国之所以决定加入世贸组织，其重要目的便是为我国经济的发展创造一个好的市场环境。当然，环境对系统整体的影响情况是复杂的，有时好的环境反而会不利于系统的发展，而恶劣的环境则会促进系统整体的发展。司马迁说：文王拘而演《周易》，仲尼厄而作《春秋》。屈原放逐，乃赋《离骚》。左丘失明，厥有国语。孙子膑脚，兵法修列。不韦迁蜀，世传《吕览》。韩非囚秦，《说难》、《孤愤》。《唐诗》三百篇，太抵贤圣发愤之所为作也。这里讲的就是恶劣环境对人们作为的激励作用。

（三）物质、能量、信息交换是系统整体与环境关系的基本内容

系统整体与环境的关系包括静态的相互制约、相互依存的关系（如第二节所述），同时也包括动态的相互交换物质、能量、信息的关系。

1. 物质交换。所谓物质交换就是指构成系统整体的某些要素跑到环境中去，而环境中的某些要素则进到整体中来。例如，动植物机体吸进氧气而呼出

二氧化碳以及一个工厂投入原料而销出产品的过程都属于物质交换过程。

2. 能量交换。所谓能量交换即指整体内一定形式的能量扩散出去,而将外界环境中的一定能量吸收进来。例如,动物吃进的各种食物中就包含一定的热能,而动物肌体在活动时又会放出一定热能。一个供暖系统也是这样:它不断从环境中吸收热能(燃烧煤或油),同时又把一定热能传递到新的环境中去(居室或工作间内)。

3. 信息交换。这是生物和社会系统整体与环境交换的重要内容,即指系统整体把一定信息接收过来,经加工改造或利用后再以另一种形式输送出去。例如,电台或电视台每天都要从社会上收集大量的信息,经过加工整理后再将其播放出去,这就是个信息交换过程。我们人类个体更是这样一个随时都与外界进行着信息交换的系统,如果没有这种交换,人类就难以健康地生存。据报纸报道:我国有一猪孩叫王显风,由于生下来不久,父亲出走,母亲智残,竟被放在猪圈里生活11年,被人发现时,智商仅有39,相当于3.5岁小孩。由于终日与猪交流信息,因而其发出的一切声音和做出的一切动作都像猪,后被全国先进教师姜云香收养后,教育了八年,才基本去掉了猪性,智商也达到69,即正常人的最低水平。可见正常信息交流对人类个体成长之重要。

总而言之,在系统与环境的系统中,这种物质、能量、信息交换关系是十分重要的。它是系统由无序向有序、由低级有序向高级有序转化的基本条件之一。可以这样说:没有这种交换关系,就没有整个生物界,更不会有人类社会。

综上所述,整体与部分、整体与层次、整体与结构、整体与环境的关系是系统内最基本的关系,人们只有从这四个方面去把握事物,才能真正达到对事物系统性的认识或正确地认识一个系统。

第四节 系统规律

一、系统规律的内容

系统的发展变化过程是整体与部分、层次、结构、环境相互作用的过程。这就是系统规律或叫系统演化规律。对于这一规律应当从如下两个方面去把握:

1. 系统整体的发展变化是构成其要素(部分)、层次、结构、环境诸因素共同起作用的结果。例如,生物的进化就是由于内部要素不断更新、层次和

结构不断发生变异以及环境的改变所共同造成的；社会的发展变化则是生产力、生产关系、上层建筑及其内部层次和结构的变化引起的，同时也离不开一定的自然条件；一个领导班子能否做出成绩，也与其人才素质、结构、行政层次以及社会环境有很大关系。应当指出，在影响系统整体发展变化的这四大因素中，每一因素所起的作用在不同的条件下是有差别的。有的因素所起的作用大些，或成为制约系统整体发展的主要因素；有的因素所起作用小些，是制约系统整体发展的次要因素。因此，我们在揭示某一特定系统的发展变化规律时，应当具体问题具体分析，并找出其主要的起决定作用的因素。

2. 系统整体的发展变化又必然引起要素、层次、结构及环境的改变。一般来讲，在系统发展的上升时期，构成的要素、层次总是不断增加，结构的稳定性也日益加强，对环境的影响也愈来愈大；而在系统发展的下降阶段其构成要素或层次就会停止增长并衰亡下去，结构则会逐渐瓦解和破坏，对环境的影响也就会愈来愈弱；最后，随着系统整体的灭亡，与之相联系的这四大因素也就不复存在了。例如，一个森林系统灭亡了，构成它的各个层次的组成部分及其结构、特定的环境也就随之而灭亡了。一个社会组织解散了，它的内部构成及其所创造的环境也就会随之完结了。

既然系统发展过程是整体与部分、层次、结构、环境的相互作用过程，因此，我们在认识和处理具体的系统问题时，就要充分考虑到所有这些方面，决不能忽略其中任一方面。否则就不可能达到系统地认识事物的目的，也不可能达到系统地解决问题的目的。

二、系统规律的普遍性

由于物质世界普遍具有系统形式，因而系统规律实际上也是物质世界的一个普遍起作用的规律。例如，自然科学的发展表明，自然界诸种事物的发展都是遵循系统规律的，从宏观天体到微观粒子，从无机界到有机界，从原生生物到人，无不是由一定部分组成、具有一定层次和结构并与环境相互作用着的整体即系统，它们的发展变化无不遵循系统规律。社会科学的发展则揭示，各种社会现象也是普遍以系统形式存在并发展着的；生产力的发展变化首先是构成生产力各要素的变化及其相互作用的结果，其次也是与生产关系、上层建筑以及自然环境相互作用的产物；生产关系的变化亦然，它首先与生产关系的内部构成（所有制关系，地位关系、分配关系等）的变动有关，其次亦受着生产力状况和上层建筑状况的制约；上层建筑的变化也是这样，一方面，它是由生产关系（经济基础）的状况决定的；另一方面，它也受着内部思想上层建筑和政治上层建筑及其不同层次的组成部分相互作用的影响，并且上层建筑对

生产关系的发展变化也起着重要的反作用，而整个人类社会的发展则是由生产力、生产关系和上层建筑这三部分相互作用以及社会与自然界环境相互作用的结果，因而遵循着系统规律。人类思维现象的发展也是如此。首先，人的感性知识就是一个系统，其发展不仅受着视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉五大感觉的制约，而且受着理性知识和实践的制约，理性知识也是一个系统，其发展变化首先是构成它的概念、判断、推理等思维形式的更新及相互作用的产物，同时又是社会实践和感性知识变化的结果，而整个人类思维的发展又是在实践的基础上，通过感性知识和理性知识的相互作用构成的。除此之外，自然、社会、思维之间又构成一个相互作用、相互制约的总系统，并按其固有的系统规律发展着的。总之，整个物质世界及其在人脑中的反映——思维，无不以系统形式存在着，也无不以系统规律的形式发展着。坚持用系统和系统规律的观点看世界，将使我们获得对世界的更加完整、更加清晰、更加准确的认识，并有助于我们在改造世界方面获得更伟大的成功。

第五节 系统方法

由于客观事物及其在人脑中的反映——意识普遍以系统方式存在着，因而，我们在对其进行认识、改造和管理时，便应注意其系统特点、遵循系统规律，也就是要运用系统方法去认识问题和解决问题。具体而言，也就是要坚持六个基本原则：

一、整体性原则

整体性原则是系统方法的核心，抛弃了整体性原则，系统方法也就不能存在了。所以，把握系统方法应首先把握整体性原则。

整体性原则包括如下一些内容：

（一）从整体上去认识、改造和管理事物的原则

人们无论是认识事物，还是改造和管理一个事物，都有两种方法：一种是着眼于整体，即从整体上去认识、改造和管理事物，这是中国古代传统思维方式的特征；另一种是着眼于部分，即从部分上去认识、改造和管理事物，这是西方近代思维方式的特点。系统方法的特色之一是强调从整体上、全局上去认识、改造和管理事物，追求系统整体的最大效能。

例如，组织部门在考察、调整或组建一个单位的领导班子时，就必须有整

体观念。首先要看其整体领导能力如何，而不能去看个别领导怎么样。因为个别成员领导能力强，并不等于整个班子领导能力强，甚至会导致整体能力削弱（出现多个领导中心时），反之亦然。因此，组织部门在调整或组建一个领导班子时，应从加强其整体领导能力的角度考虑，而不要从突出个别成员的领导能力的角度出发。

又如，人类对待生态环境亦应将其视为一个有机整体，过去我们缺少这种整体意识，一味地开荒、伐木、捕猎，结果使整个生态环境遭到破坏，人类也吃了大亏，直至今天，人们才开始觉悟，注意树立环境整体观念。

又如，马克思列宁主义、毛泽东思想也是一个整体，对之是不能加以割裂的。列宁指出：“在这个由一整块钢铁铸成的马克思主义哲学中，决不可去掉任何一个基本前提、任何一个重要部分，不然就会离开客观真理，就会落入资产阶级反动谬论的怀抱。”^{〔1〕}邓小平也说过：“我们不能够只从个别词句来理解毛泽东思想，而必须从毛泽东思想的整个体系去获得正确的理解。”^{〔2〕}

总之，我们无论认识什么事情，从事什么工作，都应当从整体出发，注意提高系统的整体特性和功能，这是系统方法非常重要的一点。

（二）从事物所从属的更高级整体出发去认识、改造或管理事物的原则

唯物辩证法认为，整体与部分的区分是相对的，而不是绝对的。任何事物对于其所组成的各个部分而言表现为整体，而对于其存在之中的更高级整体来说则是部分。由于客观世界的无限性，某一事物所从属的整体可能是很多的，并且均对之发生不同程度的影响。因此，所谓从整体出发，绝不能片面地理解为只从事物本身的整体性出发，而应包括从事物所从属的更高一级整体出发，究竟照顾到哪一级整体，则需要根据实践要求而定。

例如，一个地区、一个部门在制定发展规划时，就不能只着眼于自己眼前的情况，而不顾整个国家、整个系统的长远情况，否则，规划制定出来也实行不了。因为你那个地区、部门及现实状况不是孤立存在的，它受着整个国家、系统及整个发展过程的制约。有时，一个发展规划比较符合你那个地区和部门的现实情况，执行这个规划对你那个地区和部门的现实有利，但对于整个国家、系统的长远发展不利，这就要求服从国家和系统的全局和长远利益。由此可见，对于“从实际出发，实事求是”这一口号是应当加以辩证理解的。不能认为“从实际出发”就是从一时一地的实际情况出发，而应兼顾更广阔地

〔1〕《列宁选集》，第2卷，人民出版社1995年版，第221页。

〔2〕《邓小平文选》，第2卷，人民出版社1995年版，第43页。

区、更大时间范围内的实际。只有这样，才能避免认识和行动上的片面性。诚如毛泽东所说“‘实是’就是客观存在着的一切事物，……我们要从国内外、省内外、县内外、区内外的实际情况出发，从其中引出其固有的而不是臆造的规律性，即找出周围事变的内部联系，作为我们行动的向导。”^{〔1〕}事实上，我国民主革命的成功，社会主义革命的胜利，改革开放成果的取得，也都不仅仅是研究和把握中国现实国情的结果，它同时也是研究和把握世界历史时代特征的产物。

（三）部分服从整体的原则

由于整体是由部分组成的，部分对整体有着重要的影响和作用，因而系统方法的整体性原则并不排斥对部分的关注，这也是应当明确的。那种关于系统方法只顾整体而不顾部分的观点，完全是一种误解。实际上，系统方法是认为：认识部分、改造部分并不是目的，而是认识整体、改造整体的手段。换句话说，系统方法是为了认识整体而去认识部分，为了改造整体而去改造部分的，亦即要使部分服从整体，尤其在部分与整体发生矛盾时，更要服从整体目标。部分服从整体的要求主要有以下两方面：

1. 部分的数量和质量要服从整体的要求。例如航天飞机在飞行过程中要经受高压和真空、高温和低温等环境因素的考验，因而在制造航天飞机时，对其各种部件的质量要求非常高，否则便容易导致事故。据报道，美国“挑战者”号和“哥伦比亚”号航天飞机的失事都与零部件的质量有关。又如我国近年为了提高政府机关整体办事效率，把60个部砍成了29个部，人员也裁减一半，在2003年初召开的十届人大上，又进一步把29个部裁成了28个部，人员也还要继续精简。此外，我国近年还裁减了大量军队，其目的也是为了提高军队的整体战斗力。

2. 局部利益要服从全局利益。以战争的组织与管理为例：一次大的战役往往是由很多小的战斗组成的，那么，如何安排和组织这些小的战斗？这就需要依据此项战役的总目标而定。如果攻占或守住一个小山头对于战役全局是至关重要的话，那就要全力去攻占或固守，绝不能怕付出代价；反之，如果攻占或守住一个小山头对整个战役无多大意义，甚至有害（如分散了兵力等），那就应该毅然放弃之。因为放弃了这个小山头正是为了获取整个战役的胜利。这何乐而不为呢？在中国革命战争中，毛泽东就是经常这样教育人们的。1947年，当美蒋反动派向解放区大举进攻的时候，我军从战争全局出发，主动放弃

〔1〕《毛泽东选集》，第3卷，人民出版社1991年版，第801页。

解放区大片土地，甚至撤离了延安。反动派虽然猖狂于一时，但很快由于大量有生力量被歼而陷入我军重重包围之中，我军迅速转入反攻，只用了不到3年时间，就取得了全国胜利。事实再一次证明了毛泽东军事思想的无比正确。

日本的土光敏夫在当东芝电器公司总经理时也曾说过：“……即使某个方针对本部门是不利的，但如果它对整个组织有利，那么，就应该给予积极的支持。”〔1〕东芝电器公司之所以能在激烈的国际竞争中立于不败之地，与这种全局统帅局部的战略指导思想是不无关系的。

总之，整体性原则是系统方法的第一原则。我们在应用系统方法去认识问题和处理问题时，应注意坚持这一原则。中国古代军事家说：善弈者，谋势；不善弈者，谋子。“势”就是全局发展趋势，我们都应学会谋划之。

二、综合性原则

所谓综合性原则，就是人们在认识事物和改造事物时，要注意事物的各个方面，而不要只注意一个方面；在思考问题时，也不要局限于线性思维，而要注意网络性思维或立体性思维。只有这样，才能全面反映事物面貌，把握事物的发展。综合性原则主要包括四方面内容：

（一）注意要素综合

例如，社会主义现代化建设就包括物质文明建设和精神文明建设两方面：我们必须两个文明一起抓，两手都要硬，才能推动社会主义现代化建设沿着正确道路前进。又如，邓小平在谈到经济建设问题时指出：要注意提高我国的“综合国力”，何谓综合国力？笔者理解至少包括工业力、农业力、国防力、科学技术力等四个方面，如果再往大里说，则应包括经济力、政治力、文化力三方面，没有这些方面力量的增长和质的提升，我国的整体综合国力是不可能提高的。2002年底，党的十六大又提出全面建设小康社会的战略方针，所谓全面建设也包括经济建设、政治建设、文化建设等多方面内容。可见，我们党在领导社会主义建设方面，一向是注意坚持综合性思想的。此外，我们在治理国家、管理企业、培养人才、防病治病等方面，也都应当遵循综合性原则。

（二）注意结构综合

根据系统理论，任何比较复杂一点儿的事物或系统都不是由一种结构来支持的，而是靠多种结构来支持的，因而在运用综合性原则时，一定要注意

〔1〕 顾基发等著：《领导与系统工程》，山东人民出版社1986年版，第201页。

结构的综合性。

例如，我们在认识一个企业系统时，就要注意其多元结构的特点：人才结构、技术结构、工艺结构、资本结构、工资结构、管理结构、产品结构、销售结构等等，如果只注意一种结构，就会陷入片面性。又如，我们党也是靠多重结构来维持整体性的，这些结构主要有组织结构、宣传结构、纪检结构等等。哪一方面的结构出了问题，都会影响党的战斗力。

（三）注意环境综合

系统理论表明：任何事物的存在和发展都是离不开环境因素的，所以下面我们要讲环境原则。这里先要指出：事物或系统的环境要素不是单一的，而是综合的，因而在认识、改造或管理一个对象时，必须注意综合环境的作用。

例如，社会生产所依赖的地理环境就是综合的，它主要由岩石圈、水圈和大气圈三部分构成，因此，我们发展工农业生产，应综合考虑环境因素。某些体育人才和军事人才的培养也是离不开综合环境因素的，如恶劣的自然环境、严格的管理环境等等。

（四）注意功能综合

系统论认为，任何事物或系统的功能也都是综合的，因而在认识、把握和改造这些事物和系统时，也必须坚持功能综合方法。例如，建一所高校，要注意充分发挥其培养人才、科学研究等方面的功能；修一座水库，要注意发挥其发电、防洪、灌溉等方面的功能；学习打乒乓球，既要学习攻法，又要学习守法，技术单一，难以取胜，如此等等。

总之，我们无论认识问题，还是解决问题，都应注意综合性，防止简单性和片面性。

有人说，系统方法讲综合性，是不是要把各方面平均对待呢？是不是在做事情时，要各方面都平均用力呢？绝不是的。系统方法所讲的综合是辩证的综合，是有主次的综合，例如我们搞社会主义现代化建设，工作是千头万绪、方方面面的，但中心工作是发展经济，我们在全面建设小康社会时，也应抓好经济建设这个中心工作，否则，不仅其他工作抓不好，社会主义建设总体目标也难以实现。可见，系统方法所强调的综合是有重点的综合，是辩证的综合，这是学习系统方法的综合性原则时所应注意的。

三、层次性原则

所谓层次性原则就是要求人们在认识、改造、管理或设计一个事物系统时，一定要遵循其层次性、注意层次数量、层次质量、层次顺序以及层际关系对系统整体功能的影响。

（一）注意遵循事物的层次性

例如，我们要认识动物生理特征，便应将其分为机体生理、器官生理、细胞生理等层次，然后逐层认识之，否则便无从下手。又如我们在看一大部头著作（特别是理论著作）时，内容非常多，一下子很难掌握，这时便可以将其分为几个层次：先把握各篇的中心内容，再把握各章的中心内容，最后把握各节的中心内容。这样可以达到比较好的学习效果。

（二）注意层次数量的调整

层次的数量对系统整体是有着重要影响的：层次数量过多，会增加层次间信息传递时间，从而影响整个系统效率；层次数量太少，又会使各层次处理的信息量增大，以至穷于应付，这同样会影响系统效率。因而人们应根据现实和可能，将系统层次数量保持在一定水平之上，少则增，多则减，以使系统整体功能得到最佳发挥。而就目前总的科学管理发展趋势而言，一般都倾向于层次少一点为好。例如2001年2月，我国中央政府决定撤销9个委（国家经贸委）管国家局，将该层次职能分化；一部分上交国家经贸委，另一部分则下移行业协会。这实际上就是减少了一个监管层次，实践证明该措施使政府监管效率大为提高，更促进了经济的发展。又如2003年2月，按国务院要求和国家民航总局的具体部署，民航管理体制由过去的民航总局——地区管理局——省民航局——航站这一四级模式改为“民航总局——管理局”两级模式，其效益目前也正在显现出来。

（三）注意层次的更新

构成系统的各个层次都是有其作用于整体的特定功能的：如果其功能发挥不出来，甚至有害于系统整体功能的发挥，就应及时对该层次进行更新处理。例如，我国银行系统原来设有省级分行这一层次，可市场经济的实践表明，各省级银行往往显示出地方保护主义缺陷，于是中央于1998年底做出决定：撤销省级银行，而设立跨省市的地区银行，每个银行分别负责几个省市的金融业务，从而有效限制了银行的地方保护主义弊病，促进了国内经济一体化进程。

（四）注意层次顺序的选择

在认识事物或改造事物的过程中，层次顺序的选择也是至关重要的，如果选择不好，则收不到预定效果。例如我国的体制改革就是按照自下而上的顺序展开的：先农村后城市，先经济后政治，从而保证了我国整个局面的稳定。而一些原社会主义国家则采取相反的改革顺序，结果不仅未收到预定效果，且纷纷丧失了政权。又如，近年我们党内开展的“三讲”活动（讲学习、讲政治、讲正气）以及我国行政系统的精简机构过程则是按照自上而下的顺序进行的，实践表明收到了良好效果。

（五）注意抓好高层次的工作

实践表明，不同层次对系统整体的作用是不同的。一般而言，愈是高一级层次，对整体的影响也就愈大、愈直接。因此，我们在处理复杂事物时，应把主要精力放在那些于整体至关重要的较高的组织层次上。如作为一个部长应集中抓好各司局的工作，对于处级单位的工作则可少管或不管；当一个军长应主要安排好各个师的动作，对于团级领导的工作可以少过问或不过问；当一个校长要直接抓好各个学院或各个系的工作，对于教研室这一级的工作则不必过多干涉，如此等等。当然，对于整体系统的管理者来说，在条件允许的情况下，也应尽可能照顾好各个层次的工作，特别是基层工作，这有利于进一步把握和控制好全局。

（六）要注意改善层际关系

通过上一节学习可知，层际关系对系统功能发挥的影响极大：层际关系合理，相互协调，整个系统便会形成一个高度有序化整体，使功能大为提高，反之，层际关系不合理，甚至相互掣肘，则整个系统功能便难以发挥出来。因而在我们认识或改造一个复杂事物时，应设法保障层际关系的协调。例如，由美国管理学家杜拉克（又译德鲁克）首先倡导的“目标管理法”中，就认为企业目标与职工个人目标愈是协调，各级子目标与总目标愈是协调，就越能激发群众干劲，吸收群众智慧，因而也就能得到很好的效果。相反，如果各个层次之间目标不协调，甚至相互矛盾，则该管理系统的效能便很难充分发挥出来。我国在由计划经济体制向市场经济体制转变过程中，由于经济利益冲突及发展不平衡等方面原因，这种层际之间的关系不协调现象（如下级对上级有令不行，有禁不止，部门法律和地方法规与宪法相冲突等）是经常发生的，它严重阻碍着改革和现代化建设的进程，因此必须认真加以克服。

四、结构性原则

所谓结构性原则，就是要求人们在认识、改造或管理一个系统对象时，注意其内部的结构特征并通过调整结构来改善系统整体的特性和功能。

（一）通过认识结构来认识系统对象的特征和功能

事物的特性和功能主要是由其内部的结构决定的，一般而言，有什么结构就会有什么特性和功能，结构变化必然会导致事物属性和功能发生改变，所以通过认识结构来把握对象的整体特性和功能是很重要的方法。例如：通过对冰晶结构特点的研究，可知水在结冰后为什么体积会增大；通过对人体内物理、化学、生理结构特性的研究，可知人为什么会得病；通过对城市道路结构的研究，可知某些城市为什么会发生交通拥挤状况；通过对社会经济结构的研究，可解释经济发展的水平状况，如此等等。

（二）通过改变结构来改变系统的整体特性和功能

既然系统整体的特性与功能直接决定于结构，因而我们也可以通过调整结构的办法来调整系统的整体特性和功能。首先可以通过调整系统空间结构来改善系统特性和功能，例如通过调整楼房的居室设计方案来改善其居住性能，通过改变地区经济结构来提高我国国民经济总体水平，通过改变汉字结构来提高其美学性能，等等。其次可以通过调整系统的时序结构来改善系统特性和功能。例如，通过改变出场顺序来争取体育竞赛的胜利，通过设计优化的工作程序来保证生产安全或争取最佳工作效果等。再次可通过改变系统的数量关系结构来改善系统特性和功能。例如，通过改变中药方剂的配伍比例来提高药性，通过改变所有制结构来推动整个经济的发展，通过调整高等学校的师资学历结构来提高教学质量，等等。最后可通过改变系统的功能结构来提高系统整体效能。例如通过将系统要素的职能合并或划分开的办法来提高整个系统的工作效率等。我国的改革开放实践表明，结构改革乃是我国整个改革的核心内容，也是我国建设成社会主义现代化国家的关键，因而我们必须给予高度关注。

五、环境关联原则

系统理论告诉我们，任何事物都是在一定环境中形成和发展起来的，环境变了，事物本身的存在和发展也会随之改变。正因为如此，我们要想正确认识事物及其发展规律，就应了解事物所处的环境特征，并通过改变环境来影响事物的存在和发展。具体而言就是要做到：

（一）通过认识环境来认识系统

例如，研究生物性状就不能忽略环境因素，过去以为生物性状是由遗传基因决定的，现代科学研究则表明，环境因素对生物技术亦有重要影响。以人为例：子女身高 35% 来自父亲的遗传，35% 来自母亲，其余 30% 则来自后天环境的影响。又如，对北京春天风沙天气成因的研究也必须考虑环境因素，2002 年，国家林业局防沙办经调查分析认为，北京市沙尘来源除市区和近郊就地扬沙外，还有三大源区：一是华北北部地区，包括锡林郭勒草原、浑善达克沙地、乌兰察布盟——河北坝上——山西雁北地区；二是西北干旱地区，主要包括河西走廊、阿拉善高原以及毛乌素沙地、黄土高原北部等地区；三是境外地区，主要指蒙古，据说冷空气在侵入我国之前，就已挟带了浓厚的沙尘。可见治理北京的沙尘天气不考虑环境因素是不行的。又如评价历史人物或历史作品或一种思想体系，也都必须将其放在一定的社会历史环境中，才能得出正确结论，脱离对社会环境的考查，是不可能正确认识其形成和发展规律的。

（二）通过利用、选择和创造环境来改善系统

首先，我们可以通过利用环境来发展系统。例如，我们现在搞社会主义现代化建设就必须充分利用有利的国际环境，包括和平的政治环境、资金环境、科技环境、人才环境等。改革开放以后，很多民营企业家也都是利用政策环境发展起来的。

其次，我们可以通过选择环境来保护或改善系统。例如在中国历史上，孟母就曾为了给孟轲选择一个良好的健康成长环境而搬了三次家（孟母三迁），后来孟轲终成大器。我们现在也时常强调要选择艰苦的环境来培养人才或主动磨炼自己，这是符合系统方法要求的。作者看到过这样一个报道：每年七八月份，登陆艇都要把女子陆战队员送到荒无人烟的孤岛。孤岛上白骨森森、骷髅令人毛骨悚然。树上毒蛇、毒蜘蛛瞪着可怕的眼睛，让人心惊肉跳。在这样的环境下，每名队员带一把匕首、一盒火柴、一包盐和三两大米，进行为期一周的生存训练。粮食用完后，她们只好四处抓老鼠、鱼虾、蝎子、毒蛇充饥。这些东西吃过，就是连续几十小时的断炊……。正是这种残酷的训练，锻炼了她们绝处求生的本领。

再次，我们还可以通过创造环境来发展系统。例如，要学好外语，特别是外语口语，就需要创造一个外语环境（如找个外国人对话或听录音等），搞科学研究也需要有一个良好的环境，否则会阻碍科学进步。例如：“宇称不守恒”定律本来是前苏联物理学家沙皮罗最早发现的，但由于前苏联学术界权

威朗道 (LAYDAW LEFBAVINOVIC, 1908—1968) 未予支持, 结果这项世界水平的科学发现被压了, 三个月后, 李政道、杨振宇联合提出了这一定律, 获得了诺贝尔奖。可见, 在科学研究方面, 努力创造一个良好的民主的环境对于科学的发展是多么重要。此外, 通过创造或改善工作环境也可以提高工作效率。据报道国外一些大公司近年掀起了一种气氛管理热, 即用一台自动气氛调节机, 放在室内自动调温、调湿、调气压、调光、调音、调氧气含量、并定时向室内释放各种香味儿, 调查结果表明, 打字员在这种气氛下按键盘的次数每小时上升 14%, 而打错字的频率则下降 21%。还有的材料说, 良好气氛 (如适度的光线、温度、氧气、颜色、音响等) 能使人的用脑率提高 15% ~ 35%。

六、功能原则

功能是系统的重要特性之一, 所谓功能原则就是把功能作为系统认识、改造、管理、开发的对象和内容。具体有以下几点:

(一) 把系统功能作为认识对象的方法

例如, 帝国主义的本性就是侵略和战争, 这是列宁对帝国主义制度功能的深刻揭示, 认识这一点, 对我们制定正确的外交政策具有重要指导意义。邓小平说: 不管黑猫白猫, 拿着耗子就是好猫, 这是把猫的功能作为评价猫好坏的标准。1928 年, 英国细菌学家弗莱明在培养葡萄球菌时, 不小心掉进一滴青霉素, 结果发现葡萄球菌大都被杀死了, 于是发明了青霉素药剂, 挽救了成千上万人的生命, 这也是对青霉素功能的认识结果。事实说明, 人们无论是对物的认识, 还是对人的认识, 都是以揭示其功能为基本使命的, 因为只有认识了客观事物或人的功能, 尤其是对人类生存和发展的功能 (价值), 人们才会能动地去利用和改造之。

(二) 把系统功能作为开发对象的方法

“开发”是现代社会经济活动的重要内容, 而对物品功能的开发乃是开发的重要方面。例如 1999 年我国建国 50 周年大庆前夕, 北京市政府决定对天安门广场的铺地砖进行更新, 对于旧砖的用途, 有关部门并未多加考虑, 只是将其运到北京某地作铺路砖石而已。然而, 中国史学会历史教授、当代吃垃圾公司的董事长李永田却认为这些地砖同秦砖汉瓦一样有文物价值, 于是他派人将部分砖石切割成长 120 毫米, 宽 96 毫米, 厚 50 毫米的小砖块, 并将被切割的截面打磨光滑, 但留下原先朝上的一面保持原样。然后将这些小砖块作为礼品送人, 受到了广泛的欢迎。原来礼品砖的规格分别象征共和国 12 亿人口 (当

时全国的人口数)、960 万平方公里土地和 50 年的建国史。而有一面之所以保持原样,是因为在 50 年中有无数人从上面走过,也许留有被赠者自己的足迹,从而可引起人们对历史的美好回忆。又据 2002 年 9 月《科技日报》报道,巴西有医院发明一种用蛆虫治疗体表伤口的办法:把 200 条蛆虫包成小包放在伤口上面,蛆就慢慢将伤口清理干净,伤口恢复得又快又好,还几乎不留疤痕,这是对蛆虫功能的开发。

(三) 把系统功能作为管理对象的方法

管理对象很多,而对系统功能进行管理乃是十分重要的方面。如监狱就是对犯人进行功能管理的场所,防止其危害社会。对机器进行管理也属于功能管理,只让机器出成品,防止其出废品。对国家机关的管理也包括功能管理,如采取措施防止机关工作人员以权谋私、搞权钱交易等。

(四) 把系统功能作为改造对象的方法

改造系统功能是人们改造世界的重要内容,如果一个系统不能发挥出有利于人们的功能,或经常发挥有害于人们的功能,那就要设法改造之。例如通过修建水利措施变水害为水利,通过改革变政府对企业的监管职能为服务职能,等等。

(五) 通过功能来改变系统结构的方法

例如,骨折病人通过功能锻炼可加速骨骼的愈合,经常跑步可以锻炼心肌,活动手指可以健脑,经常用脑可以防止大脑萎缩。在社会方面也是如此,如通过改变军队的功能,可以促其内部结构的调整,加强法制的治国功能,可以促进其内部体系的完善,等等。

以上是系统方法的基本原则。

这里要注意,在实际应用系统方法去认识、改造或管理系统对象时,既要兼顾这几个方面,又要根据具体情况有所侧重。忽视了前者,就破坏了系统方法本身的完整性;抛弃了后者,又会抓不住问题的要害和关键,而在这两种情况下,都达不到正确运用系统方法去认识世界和改造世界的目的。

第二章 系统工程方法

第一节 什么是系统工程

一、什么是工程

工程 (ENGINEERING) 一词早在古代就产生了。在西方, 原指古罗马军团攻击城堡时使用的撞城锤, 当时称为“巧机”, 操作人员叫“巧匠”。到了近代, 工程一词的使用范围逐渐扩大。如采矿工程、电机工程、机械工程、土木工程、工程管理、工程图样等等。在英语中, 还有一个词即 PROJECT 也译为工程, 如灌溉工程、水利工程、希望工程都用这个词表示。我们这里所讲的工程是指前者。

在我国, 工程一词是宋朝开始出现的, 原意是指一切工作、工事或有关程式。如宋朝欧阳修和宋祁二人写的《新唐书》中就有这么一句话: “会造金仙、玉真观, 虽盛夏, 工程严促。”《元史》中也有一段话: “所著有读书工程, 国子监以颁示郡邑校官, 为学者式。”《红楼梦》第十七回也有一句话: “园内工程, 俱已告竣。”如此等等。

现代意义上的工程概念, 通常指由众多工作组成的整体及其展开过程。例如我国目前正在实施的青藏铁路工程、南水北调工程、长江三峡水利枢纽工程、西电东送工程、西气东输工程等都是这样。由此不难看出, 工程和工作是不可同日而语的, 人类做的一切有利于自己的事情都可叫工作, 工程当然也是工作, 然而却不能将一切工作都称为工程, 二者之间是简单与复杂的关系。

二、什么是系统工程

系统工程 (SYSTEMS ENGINEERING) 一词是 20 世纪 50 年代由美国人首先使用的一个概念, 原意指以系统为对象的工程。我国学者钱学森解释说, 如

果一项工程的“目的是系统的组织建立或者是系统的经营管理,”^{〔1〕}那么这项工程就是系统工程。换句话说,系统工程就是以组织建立或者是经营管理某一系统为目的的工程。如筹建工业生产系统、矿山开采系统的工程,属于工业系统工程;组织农场经营管理系统,农田基本建设系统的工程,称为农业系统工程;健全和完善社会主义法制系统的工程,则为法制系统工程;思想系统工程则是以建立高效率的思想政治工作系统为目的的工程,等等。

系统工程与常规工程相比,具有如下基本特征:

(一) 复杂程度高

常规工程通常都是构成要素较少,结构较为简单的工程,因而可以运用自然科学和技术来解决问题。而系统工程则是一些构成要素极多,结构极其复杂的工程,它需要综合运用自然科学、社会科学、思维科学的知识才能解决问题。例如,环境保护系统工程就几乎涉及到上述三类知识的各个方面,诸如物理学、化学、生物学、政治学、经济学、管理学、教育学、数学、逻辑学、哲学等等。离开任何一方面的知识,都难以解决环境保护问题。

(二) 有一个目标体系

任何一项工程都有一个明确的目标,系统工程也有目标要求。但是,系统工程的目标往往不是一个、二个,而是多个,是一个复杂的目标体系;其中,既有多个总目标,又有各个层次、各个阶段的分目标,甚至每一个细小的工作环节和工作步骤也有自己的目标要求。正因为系统工程有一个目标体系,因而搞起来就比一般工程复杂得多。

(三) 具有量化特征

传统工程一般都以定性为主,对定量不太重视。系统工程则不然,它特别强调定量化管理。一个系统工程确定下来后,多长时间完工?要用多少资源(材料)?需花多少钱?都要经过严格的测算,在工程进行的过程中,也要不断进行量化方面的调整。

现在有一门常用的系统工程技术——计划协调技术(PERT)就是自始至终要用计算机进行定量化管理的。总之,没有量化就没有系统工程。

〔1〕 钱学森等著:《论系统工程》,湖南科学技术出版社1982年版,第80页。

(四) 最优化特征

最优化要求可以说是系统工程最主要的特征，甚至是最本质的特征。上面讲的定量化管理从根本上说是为了最优化管理服务的。

举个例子说：我要办一件事情，有 10 个方案，按哪个方案去办？这就要进行优化工作，因为这 10 个方案中，每一个方案在时间期限、费用要求、资源消耗方面都是不同的。有的完工时间很快，有的较慢；有的费用很高，有的较少；有的资源消耗大，有的资源消耗小。在这种情况下，把它们各自的量化指标都拿出来做比较，立刻就显出谁优谁劣了。作为系统工程的决策者，必须选一个最优或最理想的方案。

(五) 程序化特征

由于系统工程一般是由成千上万件工作组成的复杂系统，因而把这些工作按照内在的逻辑次序排列起来，便显得极为重要。排列次序稍微出点差错或不合理，就会延误工期或造成重大损失。所以程序化对于系统工程是十分重要的。

系统工程的程序化主要有两方面要求：一是时间顺序必须搞好；二是空间顺序必须搞好。具体情况，下面讲网络分析时再做介绍。

(六) 应用范围广

系统工程作为一种技术，不但能应用于常规工程（水力工程、土木工程等），而且能应用于许许多多常规工程以外的领域，诸如防止公害、预防灾害、城市建设、交通、运输、通讯等各个部门，甚至在行政、经济、教育、文化、服务、体育竞赛等方面也都有用武之地。这是因为这些系统的创建、设计、经营、改进等工作中都有组织计划工作，因而也都需要由定性分析走向定量计算，使之更加科学化。1979 年，钱学森曾把系统工程划分为十四个专业，并且指出，随着社会活动的发展，今后的系统工程专业还会更多¹⁾（图 2-1）。

[1] 钱学森等著：《论系统工程》，湖南科学技术出版社 1982 年版，第 180 页。

系统工程的专业	专业的特有学科基础
工程系统工程	工程设计
科研系统工程	科学学
企业系统工程	生产力经济学
信息系统工程	信息学、情报学
军事系统工程	军事科学
经济系统工程	政治经济学
环境系统工程	环境科学
教育系统工程	教育学
社会（系统）工程	社会学、未来学
计量系统工程	计量学
标准系统工程	标准学
农业系统工程	农业学
行政系统工程	行政学
法治系统工程	法学

图2-1 系统工程专业分类

系统工程虽与常规工程有上述差别，但二者又是紧密联系着的。系统工程所做出的规划、计划 and 设计等等，要通过常规工程技术的具体的详细设计和制造去完成；而常规工程技术在系统工程的引导下，则能更充分有效地发挥作用，取得最佳效果。目前，随着系统工程概念的推广应用，系统工程的技术和方法已被广泛用于常规工程，并取得了显著效益。

三、系统工程的内容和本质

系统工程作为一门学科的内容很多，但可将其概括为两个方面：其一是系统工程思想。包括系统工程的概念、特性、历史发展及其与常规工程的关系等等。其二是系统工程方法论。主要包括处理复杂系统工程问题的基本步骤和所采用的量化方法等。对于这第二个方面的内容，本章第三、四节将做扼要介绍，故此不赘述。

从系统工程上述两方面内容不难看出，系统工程本质上是一种方法论，在学科分类上属于应用科学中的工程技术学科。当然，有人根据系统工程的复杂

性,把它看成是一门“将工程技术、组织管理和工程哲学统一起来的‘社会—技术’学科”,^[1]这也是有一定道理的。

第二节 系统工程发展史

一、古代的系统工程思想和实践

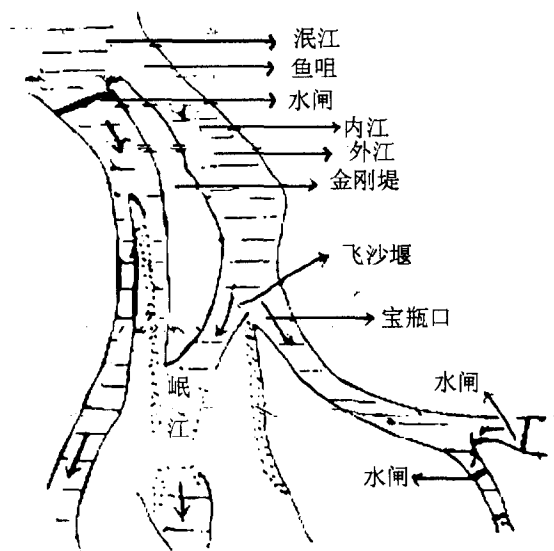
系统工程虽然是20世纪的产物,然而其基本思想却早在古代的一些工程实践中就已开始萌芽了。下面是我国古代体现着系统思想的三大工程实例:

第1例。战国时期(公元前250年),秦国太守李冰父子主持修建都江堰水力工程(图2-2)。该工程由“鱼咀”分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程和“宝瓶口”引水工程巧妙结合而成,缺一不可:没有“鱼咀”工程就不可能把大量沙石排入外江,没有“宝瓶口”的束水作用,泥沙就过不了“飞沙堰”,而没有“飞沙堰”,“宝瓶口”就会被沙石阻塞,内江之水就无法流入成都平原。正因为这三大主体工程 and 120多个附属渠堰工程巧妙结合,形成一个有机的工程运转总体,才分导了汹涌澎湃的岷江激流,使它有效地为川西成都大平原5万多亩农田进行灌溉,并至今发挥着巨大效益。^[2]

第2例,宋代沈括在《梦溪笔谈》里记载了一个“一举而三役济”的事件:北宋皇宫失火被焚,皇帝令大臣丁谓限期重建,丁谓经过实地勘察,提出一个整体最优施工方案:先在皇城前的大道上挖土烧砖备料,把大道挖成河道后,引进京城附近的汴水,用船舶把其他建筑材料直接运入工地,待到皇宫修复后,再把碎砖杂土填入河道,修复皇城前的大道。由于采用这一方案,结果“省费以亿万计”,又快又好地完成了重建皇宫的任务。

[1] 金允汶编著:《科学管理与系统工程》,知识出版社1989年版,第195页。

[2] 20世纪90年代中期,国家又在都江堰渠首建了一个飞沙堰拦水闸及配套工程,并于1993年8月18日全部建成。该工程的完工,可以弥补原来工程之不足,实现“一箭四雕”的作用:枯水时关闸,壅水入宝瓶口,补充内江灌渠的引水量;内江断流岁修时,可提高成都地区工业和城市居民生活用水保证率;为防洪抢险提供交通方便;还可为都江堰风景区增加旅游景点。据报道,飞沙堰拦水闸建完后,当年就增加引水量1.6立方米,相当于增加一个大型水库,保证了灌区800多万亩农田适时栽插。特别是当年四川夏旱严重,拦水闸使宝瓶口进水量达每秒500立方米,充分发挥了保证丘陵旱地适时栽插的作用。



图二 都江堰水利枢纽

第3例。明朝永乐年间，铸造了一个40多吨重的大铜钟。当时的炼铜炉高仅一丈二尺，炼铜炉所容矿砂量为2000多斤。如何铸造？聪明的冶炼工匠们采用了“群炉汇流”的工艺，在铸建大钟的周围建立一系列炼铜炉，总容量满足铸件实需数量，炉群位高，铸型位低，各炉槽道作辐射状通向铸型。准备就绪，各炉同时升火冶炼，炼成时铜水一齐流向铸型，“万钧铜钟”即被铸成。

上述实例虽然包含着系统工程思想的萌芽，但其毕竟没有形成理论。只是到了现代，随着人类社会活动的日益复杂化，出现了很多采用传统方法无法解决的工程问题，系统工程这门科学才逐渐发展起来。

二、现代系统工程的产生

现在一般认为，系统工程的发展经历了如下几个阶段：

（一）生产管理系统工程阶段（20世纪初—20世纪20年代）

系统工程最初是以生产管理科学的形式出现的。1911年，美国工程师弗雷德里克·泰罗（F. W. Taylor, 1856—1915年）在总结20多年管理经验的基础上，发表了《科学管理原理》一书，把科学管理称之为“全面的智力革命”。在本书中，他提出如下一些主张：（1）由工厂主管理转变为职能机

构管理；(2) 制定精确的工作程序和方法，使生产过程更加合理；(3) 设法省去劳动过程中一些多余动作。具体做法是：先从企业中挑选出最强壮、最灵巧的工人，让他们用自己最快的速度进行劳动，同时，用秒和几分之一秒的时间单位，把它完成每一操作所用的时间记录下来，或者拍摄成电影。然后，根据记录和电影对工人的劳动进行科学分析，找出其中多余的动作，并研究其中效率最高的即最合理的操作方法。最后，把上述操作法规定为标准操作法，并据此确定全体工人的劳动定额和工资单价，凡完成和超额完成定额的，除工资外，还可得到一定数量的奖金；对于完不成定额的，则按较低的单价支付工资。这就是有名的“泰罗制”。现在很多人认为，“泰罗制”是现代系统工程实践的最初形式，而泰罗的《科学管理原理》一书则被认为是阐述企业管理的最早著作。

“泰罗制”实行后，给资本家带来了巨大好处，因而，相继又有人发明了一些企业管理制度，如“福特制”、“赫尔斯制”、“罗文制”、“康托制”等。其中“福特制”比较突出，其特点是：(1) 实行产品标准化制度；(2) 用机械传送代替人力传送。实行这些管理制度后，资本主义的劳动生产率提高了很多倍，但也极大地加重了资本家对工人的剥削，所以列宁又把这些制度称为“血汗工资制度”。

无论是“泰罗制”还是“福特制”，都有一个特点，即它们都是以技术为中心进行管理的。在这些制度的倡导者看来，企业只要有好的机器设备和严格的劳动组织，再加上金钱等物质刺激，工人就会好好劳动，生产能力就会不断提高。但在 20 世纪 20 年代，美国芝加哥城外有一个制造电话机的霍桑 (HAWTHORNE) 工厂，它设备完善、福利优越，具有良好的娱乐设施、医疗制度和养老金制度。但工人仍然愤愤不平，生产效率也很不理想。这是什么原因呢？为此，1924 年美国科学院组织了一个包括各方面专家在内的研究小组，对该厂的工作条件和生产效率的关系进行了全面考察和多种试验，结果发现，生产效率能否提高的关键在于职工积极性能否充分发挥出来，而职工积极性的调动，光靠金钱等物质因素是不行的，它更取决于各种社会因素、心理因素以及人际关系因素。1935 年，参加试验的美国哈佛大学教授梅奥把霍桑试验结果写成了一本书《工业文明中人的问题》加以发表，从而把生产管理科学推进到了一个新阶段——人际关系阶段。

(二) 军事系统工程阶段 (20 世纪 30 年代—20 世纪 40 年代)^[1]

20 世纪 30 年代末期,爆发了第二次世界大战。在战争中,双方为了取胜于对方,都集中了大量的人力、物力、财力去搞新式武器的研制和制定科学的作战计划等工作,这样,军事系统工程即“运筹学”就产生了。运筹学的主要内容有两方面:一是对科学技术的组织管理;二是人、财、物的有效使用。如二战前夕,英国面临着如何抵御德国飞机轰炸问题。当时,德国拥有一支强大的空军,而英国是个岛国,国内任何一点离海岸线都不超过 100 公里,这段距离,德国飞机只需 17 分钟就能飞到,而在这段时间内,英国空军要完成起飞、拦截的动作几乎是不可能的。为了防止空袭,英国一个无线电专家沃森·瓦特 (Watson - Watt. Robert, 1892—1973)^[2] 发明了一种新型无线电装置——雷达,它能探测到 100 公里以外的飞机,从而使英国空军有时间做好拦截准备。但是,在几次防空演习中发现,雷达虽然能早发现飞机,但却没有一套快速传递、数据处理和信息显示的设备,所以探测到的信息无法供作战人员使用。于是英国雷达研制人员认识到,要想成功拦截敌机,光有雷达还是不行的,还必须有一套信息传递、处理和显示设备,也就是说,要形成一整个系统才能真正发挥出威力。于是,英国雷达研制单位在 1939 年建立了世界上第一个作战分析小组,后称运筹学小组,这个小组由一位教授和一位海军军官领导,成员中包括一名心理学家、两名应用数学专家、一名天文物理学家,一名普通物理学家、两名数学家、一名陆军军官和一名测量员。有了这个小组以后,英国防空预警雷达的功能才充分发挥出来。^[3]

又如,美国国防部 1942 年开始实施的“曼哈顿工程”也是当时运筹学所要攻克的重要目标,(1939 年 10 月 11 日美国总统罗斯福下令成立了一个“铀顾问委员会”。1941 年 12 月罗斯福又批准为了保密面取名的“曼哈顿工程”计划。在这个庞大的工程中,康普顿负责裂变材料的制备工作,弗米负责制造原子反应堆,美国著名物理学家奥本海默 (J. R. Oppenheimer, 1904—1967) 负责制造原子弹。1945 年 7 月,第一颗原子弹在美国西部沙漠地带试验成功。同年 8 月,美国在日本的广岛和长崎分别投下了两颗原子弹) 这个工程一共动员了 15 万名科技和生产人员,耗资 20 亿美元,终于在 1945 年 6 月制成了

[1] 又叫运筹学 (Operating Research) 阶段。

[2] 沃森·瓦特于 1919 年研制成用于大气研究的第一个雷达装置,并获英国专利,1935 年又研制成使用 1.5 厘米波的新式飞机探测雷达装置 CH 系统。1938 年 CH 系统正式投入使用。

[3] 钱学森等著:《论系统工程》,湖南科学技术出版社 1982 年版,第 42 页。

第一颗原子弹。后来，这项工程的技术负责人奥本海默总结说：“使科学技术充分发挥威力的是科学的组织管理。”^{〔1〕}

再如，二战时美国运筹学家研究的一个重要问题是深水炸弹的起爆深度。因为希特勒的潜艇战术使大批盟国舰只被击沉，损失很大。开始美国主要是采用海军发现潜艇扔深水炸弹的办法来对付，炸弹起爆深度为 100 呎，可是效果不佳。后来又想通过飞机发现潜艇后扔炸弹的办法，可是什么时候扔？炸弹起爆深度定为多少呢？当时一些专家经过研究分析，做出了如下决策：（1）仅当潜艇浮在表面或刚开始下潜时，方投弹攻击；（2）起爆点为 25 呎，这是当时所允许的最浅起爆点。在这项决定实施以后，被击沉的德国潜艇增加了 4 倍~7 倍，从而为运筹学赢得了声誉。

（三）一般系统工程阶段（20 世纪 50 年代—20 世纪 60 年代）

由于运筹学在二战中发挥了巨大作用，因而很快受到政府和科技界的重视。1948 年，美国空军建立了一个“兰德”^{〔2〕}（RAND——研究与发展的英文缩写）公司，该公司有一个麻省理工学院鲍利斯教授领导的科学家小组，专门负责对符合既定目标的各种方案进行系统分析，协助领导人进行决策。他们的工作方法当时被称为“兰德型系统分析法”。这种方法对美国空军研制第一代军用卫星和洲际导弹的战略决策产生了很大影响。60 年代以后，“兰德”公司的研究范围已从军事、外交、扩大到公共政策方面，成为美国一个十分著名的军事战略、国防政策以及民用技术和社会问题的咨询机构。50 年代初期，美国贝尔电话公司在扩建该公司的通讯网络时，原来只注意对交换台的研制和改造，后来发现效果不佳，因为交换台再先进，整个通讯网络不合理，还是提高不了传信率。于是他们就把交换台的研制和通讯网络本身的改进联合起来考虑，提出要有系统观点。著名的系统工程的重要方法之一——霍尔三维结构法就被认为是对这个公司方法的一个总结。与此同时，贝塔朗菲的一般系统论也日渐兴盛起来，1954 年他同社会经济学家保尔·丁（K·Boulding）等人一起成立了一般系统论学会。同年，中国学者钱学森发表了英文版的《工程控制论》一书，这都促进了系统工程方法论的研究和应用。

〔1〕《迎接新的技术革命》，湖南科学技术出版社 1984 年版，第 316 页。

〔2〕该公司创始人之道格拉斯飞机公司的工程师兼试飞员富兰克林·科尔博姆（1907—1990），在陆军航空兵亨利·阿诺德将军的建议下，他于 1946 年同意创建这个研究机构，当时叫“兰德计划”。科尔博姆一直担任兰德公司的董事兼总经理，直到 1967 年退休，目前，该公司的经费的 80% 以上依然由联邦政府提供。

1957年,美国密执安大学的古德《H·H·Goode》和麦克霍尔^[1](R·E·Machol)合著的《系统工程学》一书出版,这是系统工程这一学科形成的正式标志。

1962年,美国工程师霍尔(A·D·Hall)又出版了《系统工程方法论》一书。

1965年,麦克霍尔又在总结各种系统工程实践的基础上,出版了《系统工程学手册》,该书包括系统方法、系统环境、系统元件、系统技术和系统数学等内容,概括了系统工程学的各个方面。至此,系统工程学便形成一个比较完善的科学体系了。

1969年,美国国家航空和宇航局(NASA)顺利实现了运用系统工程方法制定的阿波罗登月计划,从而使系统工程进入全盛时期。

三、系统工程的发展(20世纪70年代以后)

20世纪70年代以后,系统工程进入全面发展时期。这时的系统工程有四大特征:(1)系统工程的应用范围愈来愈扩大。现在从政治到经济到文化,各行各业都在力图用系统工程去解决和处理问题,形成了工程学的诸多分支理论。(2)大型计算机和卫星通讯的出现、微型计算机的普及给系统工程的应用提供了强大的技术手段。(3)工程学的规模愈来愈巨大,如生态系统、社会经济管理系统等都是些构成要素众多、层次结构极为复杂的巨系统或大系统,研究这些系统问题,以往的系统工程方法还不够用,于是大系统理论开始形成。(4)系统工程同信息论和控制论相结合,导致了一门综合性极强的学科——系统学的出现。

我国对系统工程的研究和应用是从20世纪50年代中期开始的。1956年,中国科学院力学研究所建立了我国第一个运筹学研究组,1960年底,中国科学院数学研究所的运筹学研究室成立(由力学所的运筹学研究组与数学所的两个运筹学研究室合并而成)。20世纪60年代初期,华罗庚教授在我国推广“统筹法”而获得成功。1963年,我国在研制第一台电子计算机过程中采用了计划评审技术(PERT),使整个任务提前完成。十年文革期间,系统工程研究基本处于停滞状态,1976年以后,系统工程研究又在我国发展起来:从1978年开始,中国航空学会、中国管理现代化研究会、中国自动化学会以及科学院、教育部、社会科学院等单位先后在北京、天津、芜湖等地召开了系统工程方面的学术会议,其中,1979年10月在北京召开的系统工程学术讨论

[1] 麦克霍尔为美国西北大学管理学研究生院系统学教授。

会、国务院副总理耿飫、王震、副总参谋长张爱萍、李达以及有关单位领导十余人出席了开幕式，体现了党和政府对系统工程在四化建设中作用的重视。1980年2月，中国科学院系统科学研究所举行成立大会，方毅副总理和中国科学院领导到会表示热烈祝贺。同年下半年，中央人民广播电台、中央电视台举办全国性的系统工程讲座，由著名科学家钱学森等播讲。这期间全国一些重点大学还相继成立了系统工程研究室、所、系，招收了系统工程专业本科生和研究生。系统工程学作为一门学科就这样在中国大地上立足并发展起来了。

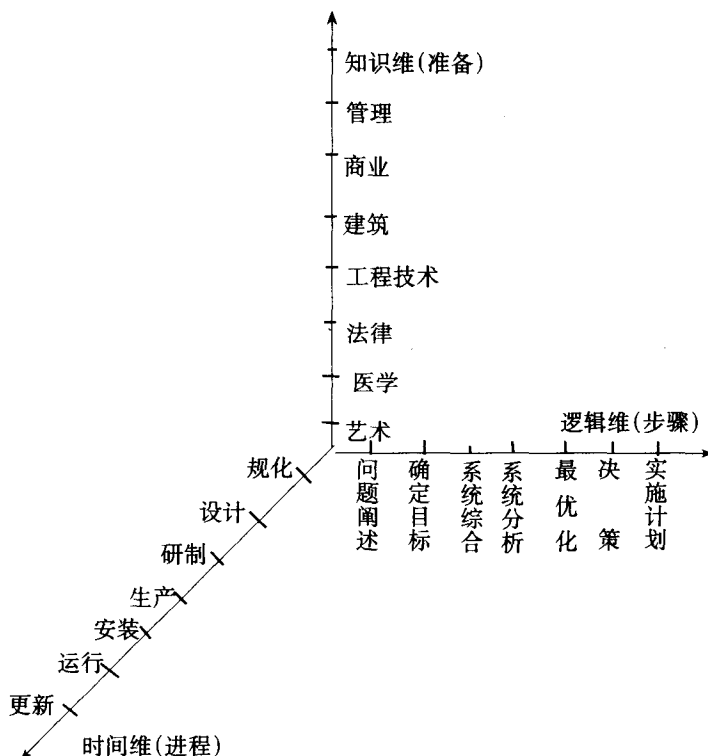
改革开放以来，我国在系统工程的研究和应用方面取得了巨大进步。目前，在著名科学家钱学森、关肇直、宋健、许国志等多年培育和带领下，我国已形成一支水平较高的系统工程研究和应用队伍，系统工程在国防科研、人口控制以及国家能源、宏观经济、工业、农业、军事、交通、科技教育和区域发展战略、运动会的筹划组织和管理、三峡工程论证和实施、高技术研究、生态环境、全球变化等领域都获得了广泛应用。总之，系统工程正在为我国的社会主义现代化建设做出愈来愈大的贡献。

1993年8月24日~27日，中国系统工程学会以及国际应用系统分析研究所等机构在北京共同发起并组织了第二届系统科学与系统工程国际会议，其中有14个国家与地区的200名研究机构 and 高等学校的专家与会，到会专家提交论文570余篇，其中196篇收入大会论文集，会议研究的课题主要有最优化问题，决策分析问题，人工智能与决策支持系统，神经网络，系统的建模与仿真等专题。这表明我国的系统工程学研究已达到较高水平，并受到国际学术界的肯定。

第三节 系统工程方法之一：霍尔三维结构法

系统工程方法包括两部分内容：其一是搞系统工程的步骤、程序；其二是搞系统工程的定量化方法。具体系统工程的完成过程都是这两方面的有效结合。系统工程的形式很多，下面介绍一下以工作步骤和程序为特点的系统工程方法——霍尔三维结构法。

霍尔(A·D·Hall)是系统工程的创始人之一，1962年，他发表了《系统工程方法论》一书，1969年，他又把系统工程方法概括成一个三维结构图(图2-3)。



图二 3 霍尔三维结构图

结构图是什么意思呢？就是说，任何一个系统工程都包括三个方面的内容：

其一是应用知识（列出了七种）——知识维（准备）。

其二是思维过程（宏观决策过程）——逻辑维（步骤）。

其三是活动顺序（工程程序）——时间维（进程）。

整个系统工程就是由这三个方面的内容有机组合而成的，其中主线是时间维，即工作进程。

这三项内容之间的关系如何？概而言之：在组织系统工程的各个阶段（规划、设计、研制等）都应全面（当然也要有重点）遵循逻辑思维的七个步骤和注意应用七个方面（当然也要有所侧重）的知识。（见图二 4）例如，在规划阶段，就应按思维过程的七个步骤（主要是 1、2、6、7）进行，同时要全面应用艺术、医学、法律等七个方面的知识。以此类推。

逻辑		1	2	3	4	5	6	7
时间		摆明问题	确定目标	系统综合	系统分析	紧优化	决策	实施计划
1	规划	a_{11}	a_{12}				a_{16}	a_{17}
2	设计	a_{21}	a_{22}					
3	研制			a_{33}	a_{34}			
4	生产				a_{44}	a_{45}		
5	安装					a_{55}	a_{56}	
6	运行						a_{66}	a_{67}
7	更新	a_{71}	a_{72}				a_{76}	a_{77}

图二 4

下面，我们再把这三维结构中的每一维分别解释一下。

一、知识维

这一维讲的是搞系统工程所要用到（因而亦应具备）的一些专业知识，霍尔在图中标出了主要的七种：艺术、医学、法律、工程技术、建筑、商业、管理。

（一）艺术知识

初看起来，搞系统工程是科学技术方面的事，还要艺术知识干嘛呢？实际上，艺术知识对搞系统工程的人是非常必要的。

首先，无论什么样的系统工程搞出来以后都应给人以美感，如果系统工程师具有美的艺术知识，则搞出来的系统工程就会很好看。诸如澳大利亚的大剧院多漂亮！北京世纪坛又多具特色！如果上述工程师们连一点儿艺术细胞都没有，能搞出这些令人流连忘返的杰作来吗！

其次，无论什么样的系统工程，也总得有些娱乐场所以供人们搞点娱乐活动吧！那么，搞什么样的娱乐场所？把它设在哪儿？这也得懂点艺术知识才行。

（二）医学知识

有人说，搞系统工程要医学知识作何用？其实医学知识也是很重要的。

首先，搞任何一项系统工程都不能不考虑人的健康问题，例如盖一座办公楼，得考虑采光问题，因为人们长期见不到自然光会影响健康的；还得考虑通风问题，如果通风不好，人们也会得病，此外还得考虑污染问题，特别是一些

大的工业系统工程更是如此。

其次，与系统工程有关的每一个人总要生病吧！有了病到哪儿去看医生？是到遥远的地方去，还是就近就诊？系统工程师得考虑这些问题，要想好把医疗机构设在什么地方，或者是怎么到医院去最方便。

（三）法律知识

在市场经济条件下，法律知识对系统工程的重要性是不用多说的。如果一项系统工程违法，那么纵然有天大的好处也不可能搞起来。

首先，搞一项系统工程之前，必须要有充分的法律依据，因而系统工程师必须具备相应的法律知识。其次，系统工程在实施过程中，也会遇到各类法律问题，如环境污染问题，执行合同问题，甚至贪污、盗窃等刑事以及民事问题，要处理好这些问题，就必须具备丰富的法律知识。

（四）工程技术知识

系统工程虽然不同于常规工程，但其毕竟也属于工程，所以工程技术知识也是不可缺少的。

工程技术知识包括的内容很多，诸如规划、研究、设计、制造、试验等方面的知识。运筹学的各个分支（如线性规划等）以及计算机技术则是系统工程所特殊需要的工程技术知识。

（五）建筑知识

建筑知识对于系统工程来说，其必要性也是不言而喻的。因为任何一项系统工程都得有一定的建筑作寓所，诸如水利系统工程、科研系统工程、卫生系统工程等都是这样，而要搞建筑，当然就离不开建筑学知识。

（六）商业知识

商业知识对于系统工程的必要性主要在于：（1）系统工程是个商品，搞出来以后要卖掉给人用，如果缺少商业知识，那还不得赔钱吗？（2）系统工程在进行的过程中离不开市场，在市场上买进卖出各种商品（包括劳动力），如果没有商业知识，系统工程就会寸步难行。

（七）管理知识

管理知识对于系统工程更是不可缺少的，这主要表现在：（1）整个系统工程在进行过程中都离不开管理。阿波罗计划的总负责人韦伯博士总结道：

“我们没有使用一项别人没有的技术，我们的技术就是科学的组织管理。”^{〔1〕}可见，搞系统工程，缺少管理知识是不行的。（2）系统工程在运行时尤其离不开管理，否则其功能不可能得到充分发挥。例如我国大亚湾核电站目前就处在运行阶段，它是一刻也离不开管理的，而要从事管理，当然就需要有管理知识。

这里应该指出，霍尔在知识维中列出的这七个方面的专业知识虽然都是必要的，然而其本身却缺少内在层次性，而且未能考虑到科学技术的发展。本作者认为，根据现代系统工程的要求，系统工程师所应具备的知识应包括以下几个方面：

（一）基础知识

所谓基础知识就是指搞一切系统工程都必须具备的通用知识。根据我国的具体情况，基础知识大致应包括以下四个方面的内容：

1. 马克思主义基本知识。包括马克思主义哲学、马克思主义政治经济学、科学社会主义等内容。
2. 人文知识。包括艺术知识、语言知识（本国语和外国语），法律、道德知识，商业知识，人才学知识，等等。
3. 理工知识。包括数学知识（含计算机），工程技术知识，控制论知识，医学知识，环境科学知识等。
4. 管理知识。系统工程涉及大量的人、财、物、信息、能源等事项，不懂管理知识，无法搞好系统工程。

（二）专业知识

专业知识又包括专业基础知识和专业主干知识两类。

1. 专业基础知识。指有关该系统工程专业的的基本理论、方法及历史知识。例如水利系统工程专业的的基础知识应包括地理学、水利学、水利学史等内容。
2. 专业主干知识。主要包括专业理论与专业技术两大部分。如水利系统的主干知识就是水利系统工程学和水利系统工程技术。

（三）相关知识

所谓相关知识主要指与具体工程专业相关的学科知识。以法治系统的工程而言，其相关知识则包括：政治学知识、伦理学知识、社会学知识、经济

〔1〕《迎接新的技术革命》，湖南科学技术出版社1984年版，第316页。

学知识等等。倘若缺少这些相关知识，搞法治系统工程便会遇到诸多困难。

总之，我们在搞任何一项系统工程之前，都应当做好知识准备，既要准备好基础知识，又要准备好专业知识和相关知识，只有这样，工作起来才能得心应手，取得系统工程实践的成功。

美国西北大学系统学教授 R·麦克霍尔（ROBERT·E·MACHOL）在谈到系统工程师的知识素养时，说过这样一段话：

“显然，这种人在某种意义上必须是通才而不是专家。理想的系统师是一个‘T型人’，知识广博，但在某一领域里造诣很深。他的学识渊博，来自学者的经历——博士或相等学历，而见闻广则由于广泛的兴趣和才能。他常常必须在一个新领域诸如气象学、电视或脑电图记录方面成为一个‘六个月的专家’，他会发现他的数学和工程方面知识背景使他能在规定时间内学到足够的东西，从而能和这个领域内真正的专家共同工作。

除了系统工程以外，他必须有丰富的行政经验并对市场情况非常熟悉。他尤其必须是一个好推销员，因为不管他思想上的优点如何，他都必须使某个主持人确信他的计划比许多其他建议更值得支持。那些建议总是在争夺有限的投资、设备和可用的时间。他必须了解工程项目的管理系统；他必须熟悉成本会议；他还必须懂得玩弄组织的和行政的手腕。这也许是从任何一本书都学不到的。

当然，懂得所有这一切的人是不存在的。实际上系统工程师并不需要通晓一切，他必须知道的只是各种跟他的个别问题贴切相关的事物。在这个意义上，即将出现显然是称职的成千上万名系统工程师。”^{〔1〕}这是对系统工程师知识素养特征的生动概括，也是对一切系统工程师的基本要求。

二、逻辑维

这一维主要是讲在系统工程的各个阶段进行决策时所应遵循的思维过程，亦即宏观决策过程。这一维是系统工程的关键。

〔1〕《系统思想》，四川人民出版社1986年版，第83~84页。

(一) 问题阐述 (摆明问题)

系统工程不是无缘无故地提出的,而是为了解决目前实践或科研中所遇到的问题而搞起来的。所以,在设计或研制一项系统工程前,应先把所遇到的问题搞清楚。问题是什么?就是现实状况和主观需要之间的矛盾。

例如,我国长江三峡地区水利资源极其丰富,但几千年来并未得到开发、利用,另一方面,长江流域又经常发生水旱灾害,经济发展缓慢,这是一个大的矛盾问题。正是这一大的矛盾问题启发了孙中山、毛泽东等政治领导人要搞三峡水利工程的设想,后来在邓小平、江泽民等新政治领导人的关怀下,终于使三峡工程设想开始变成现实,长江流域的经济发展也会由此进入快车道。

又如,我国新疆地区天然气储量丰富,累计探明的地质储量为4190亿立方米,但长期得不到开发利用,而东部省区工业发达、人口稠密,又十分缺少燃料。这也是一个矛盾。为解决这一矛盾,2001年国务院批准搞“西气东输”工程。此外如青藏铁路工程、南水北调工程等也都是先把问题阐述清楚,然后才开始规划和设计的。

搞科学研究工程也是这样,必须首先把科学发展中的问题搞清楚。英国哲学家卡尔·波普(karl Rainmund Popper, 1902-1994)认为,科学研究始于问题。这是正确的观点。当然,这些问题有些是理论上的,也有些是实践中的,更多的则来源于理论与实践中的矛盾。总之,只有把问题搞清楚,科学研究才能开始进行。问题抓得准,就容易出成果;问题抓得不准,则不容易出成果。所以搞清问题是很重要的。

在阐述问题时,要注意三个方面:一是注意问题的过去、现在和将来的发展趋势,也就是要考虑到长期存在的问题,而不要只考虑短期存在的问题。例如现在有些地区的农民看到当前市场上某种农产品短缺,于是便决定大量种植该种作物,可是当该种作物收获时,市场上已经不再短缺了,因而往往造成经济损失,这就是缺少对长期存在问题思考的缘故。二是注意抓带有战略性的问题——影响全局的问题,否则搞系统工程的意义不大。我国近年来搞的系统工程,诸如南水北调工程、西气东输工程、西电东送工程、三峡水力枢纽工程等,大都是关系国家、地区、城市或某一行业全局性问题的。三是要搞清问题的实质——主要矛盾或矛盾的主要方面,否则系统工程的效益难以充分发挥出来。

在各种工程实践中,由于问题阐述不清而导致失败的例子比比皆是:如据2002年6月6日《中国青年报》报道:1998年,重庆某公司决定在长江大桥南桥头修建名为“中国龙”的广告牌。该广告牌的规格为:长300米,高45

米，正面面积 1.5 万平方米，号称世界最大，并拥有上海大世界基尼斯世界记录认证书。据说该广告牌用掉钢材 1500 吨，花掉 4000 万元。然而，该广告牌自 1998 年底建成以后的效益如何呢？据说除 2000 年悬挂过一条公益广告外，始终无人问津。原因有二：一是广告牌太大，广告收费每年高达数百万元，无人做得起广告；二是“中国龙”最佳视点在 1 公里外的长江对岸，而重庆素有“雾都”之称，冬春多雾，雾中几乎连“中国龙”本身都看不见，更不用说广告了。该公司终因债务缠身，于 2001 年春关门大吉。

该项工程的失败有多种原因，但首要原因便是问题阐述不清，对当地天气状况、市场需求状况均缺少必要的调查，完全凭决策者主观意愿所为，因而失败也就在所难免。2002 年 6 月，经法院拍卖，成都某建材部门以 100 多万元买得处理权，并将其拆除，其废旧钢材另作他用。问题阐述对一般工程的意义如此，对系统工程的意义更大。

（二）确定目标

无论是研究设计，还是组织管理一个系统工程，都必须有明确的目标，否则系统工程无从着手。有人说，只要把目标搞清楚了，就等于解决了问题的一半，这确是经验之谈。

在确定系统工程目标时，要注意：

1. 符合实际。目标的确定要从目前和今后发展的实际情况出发，要保证在现有和今后可能具有的客观条件下，经过主观上的最大努力，可以使目标实现。在这里要注意防止两种倾向：一是目标定得偏高，脱离实际可能性，这样一来，工程很难按期完成。二是目标定得过低，这同样也是脱离实际可能性的。这样一来，工程虽较容易实现，但不能最大限度地解决问题，而且会造成人、财、物的浪费。如何保证目标定得切合实际？首先要对现状进行充分的调查（现状包括现有客观条件和主观条件）；其次需尽可能全面地总结以往工作经验，以便根据经验进行判断；再次得进行科学推算，在系统工程中是有一整套推算方法的。

2. 综合性。任何大的系统工程都有一个总体目标，这是肯定的，也是必须始终坚持的。但是，在这个总目标下，往往又包含很多层次的分目标，这也必须注意。例如，学校教育是一个系统工程，其总目标是为国家培养人才。分目标可以做各种划分，但德、智、体、美、劳全面发展是最基本的五个方面，我们不能只顾其中一个方面。又如发展农业生产、改善生态环境这是农业系统工程的总目标，但在这个总目标下，又包含农、林、牧、副、渔各项分目标，没有这些分目标作保证，总目标就会是空洞的东西。除了一些并列的分目标

外，还要注意划分出一些阶段性的目标。如我国国民经济发展的五年规划就属于阶段性目标。总之，系统工程的目标不是单一的，而是具有多个层次的目标体系。不把握总目标，系统工程就失去方向；忽视了分目标，系统工程也难以实施，所以我们应把二者很好结合起来。

3. 定量化。定量化是系统工程的一大特点，它体现在系统工程的各个方面，而目标定量化则是最重要的方面。例如，在举世瞩目的长江三峡工程中就有这样一些定量化目标：正常蓄水位 175 米，有防洪库容 221.5 亿立方米，可使荆江河段防洪标准由十年一遇提高到百年一遇；发电装机 1768 万千瓦，年均发电量 840 亿千瓦时，三峡水库投入运行后与葛洲坝工程联合运用，万吨级船队每年有 50% 的时间可直达重庆，年单向下水通过能力由 1000 万吨提高到 5000 万吨，运输成本降低 1/3，工程建筑物抗震设计烈度为 7 度等等。有了这样一些明确的目标，整个计划就好安排了。又如，我国的社会主义现代化建设也是一项系统工程，江泽民在党的十五大上庄严宣告：21 世纪我们的目标是，第一个十年实现国民生产总值比 2000 年翻一番，使人民的小康生活更加富裕，形成比较完善的社会主义市场经济体制；再经过十年的努力，到建党 100 年时，使国民经济更加发展，各项制度更加完善；到世纪中叶建国 100 年时，基本实现现代化，建成富强、民主、文明的社会主义国家。目前，全党全民正为实现这一目标而奋斗。

总之，制定正确的目标或目标体系，对于系统工程是非常重要的。现在的管理系统工程中有一种重要方法即目标管理法，这是美国管理学家杜拉克首先提出来的。这种方法能够激发群众干劲、吸收群众智慧，因而得到了很好的成功。近年来，我国不少企业也采用目标管理方法，同样取得了良好效果。

（三）系统综合（制定方案）

目标确定之后，接着就要制定实现目标的方案。实际情况表明，能够实现目标的方案往往是很多的，除特殊情况外，绝不会一种。如美国在实施阿波罗登月计划时就曾设想了三个方案：一是直接着陆方案，即用大型运载火箭带着宇宙飞船直接到达月面软着陆；二是地球交会方案，即用两枚火箭分别发射载人航天器和液氧贮箱到地球轨道上组装，再送飞船到月面软着陆；三是月球交会方案，即用一枚火箭推动宇宙飞船航行，当到达月球轨道后，再抛出一个登月舱在月面软着陆，完成任务后，登月舱再与绕月飞船对接返回地球；最后选择了月球交会方案。又如我国铁道部门在 20 世纪规划的进藏铁路也设计了四个方案：第一是滇藏线方案，东起云南广通，西至拉萨，总长度为 1594.4 公里，投资概算为 635.91 亿元人民币；第二是川藏线方案，从都江堰到拉萨，

总长度为 1927 公里，投资概算为 767.87 亿元；第三是甘藏线方案，由甘肃永靖县出发到拉萨，总长度为 2126 公里，投资估算为 638.4 亿元；第四是青藏线方案，由青海的格尔木到拉萨，全长为 1080 公里，总投资概算为 194 亿元。经过比较，最后选择了青藏线。总之，我们在设计一个系统工程时，要尽量把所有方案都收集起来，绝不能图省力，只找出一个方案就开始实施。因为你这个方案很可能是一个“少”、“慢”、“差”、“费”的方案。只有尽可能把能够实现目标的方案都收集起来，才有可能进行比较，并进而择出最佳方案。

怎样才能集中起更多的方案以供选择呢？根据系统范畴的要求，我们可以采用如下一些方法：（1）通过选择不同质的要素来设计不同方案。（2）通过设置不同的层次来搞出几套方案。（3）通过设计不同的结构方式而形成不同方案。（4）设计出能够适应不同环境的方案。无论采用哪一种方法设计方案时，都应注意充分发动群众，因为群众对情况最了解，群众中能人也最多，只要把群众发动起来，各种各样的方案也就出来了。现在的报刊、杂志经常向公众征集各种会徽或工程的设计方案，然后评出最优方案，这是一个好办法。

（四）系统分析（可行性分析）

系统分析的内容很多，各家概括亦不一致，这里所谓系统分析主要指对各方方案实现目标的实际可能性及其价值大小进行分析，具体可分为五个方面：

1. 科学性分析。（1）定性分析。即从理论上分析一下各个方案是否可行，符合不符合科学规律。如果一个方案看起来很好，但在理论上是站不住脚的，缺乏科学依据，则该方案就是不可行方案，应予放弃。在科学史上，曾有一些人设计过不消耗任何能量就能永远做功的所谓“永动机”方案，虽然很吸引人，但由于不符合能量守恒定律，因而根本无法实施。（2）定量分析。即把一个方案变成各种数据，然后进行综合运算，得出总的结果数据，看看实际上是否可行。（3）可靠性分析。即对一个方案实现目标的稳定性能进行分析。各方案的可靠性通常在 0 和 1 之间。例如，2003 年 10 月我国发射升空的“神州五号”载人飞船的可靠性为 0.97。（4）隐患分析。任何一个系统方案都必然存在隐患，如果缺少隐患分析，一旦发生事故，就会造成重大损失，例如 1999 年 3 月 24 日，连接法意两国的勃朗峰隧道发生火灾，41 人死亡。其原因则在于事先未发现设计隐患；隧道内避难处未能连接起火地点，致使伤员不能及时得到抢救，另外，隧道内也缺少连接外界的安全通道，致使很多人因缺少氧气窒息致死。

2. 价值性分析。即对每一方案实现后可能取得的效果进行的分析。例如三峡工程实施后可在防洪、发电、导航、灌溉等方面产生巨大效益，当然也会

淹没一些良田、影响一些古迹的挖掘工作，对这些利弊方面进行分析，即属于价值分析。

3. 进行仿真实验。所谓仿真实验（又叫模拟实验），就是把各个方案变成模型（物质模型或思维模型），然后模仿真实情况进行动态实验，看其是否能实现系统工程的目标。例如，军事上的沙盘地图对阵或实兵演习（物质模型）就是一种仿真实验。所谓沙盘地图对阵，就是在以沙盘、地图表示地形地貌，以标识器表示军队和武器配置的战场模型上，利用反映实战条件约束的若干行动规则，交战双方指挥人员进行策略对抗。这种沙盘地图对阵在现代军事史上所起的作用是非常突出的。如第一次世界大战期间，德国军队就曾用这种方法帮助制定作战计划，以劣势兵力大败了具有优势兵力的俄军。第二次世界大战中，德、日、英、美等国也都用这种方法拟制过大规模作战计划。仿真实验有以下几种分类方式：（1）以仿真实验方法相区别的物理仿真和数学仿真；（2）以事件出现特性相区别的确定性仿真和随机性仿真；（3）以系统随时间变化特点来区分的连续系统仿真和离散系统仿真；（4）以仿真使用的计算工具相区别的模拟计算机仿真和数字计算机仿真。现代仿真技术是以控制论、相似理论、工业过程理论以及计算机技术为基础，借助系统模型对真实的（或设想的）系统进行测试研究的一门新兴综合性技术，它广泛运用于火箭、导弹、航天器、汽车和电力系统等研制领域，发挥出巨大经济效益。例如现在搞一次多兵种联合实兵演习约需 100 万元人民币，但在网上演习则只需 1 万元便够了，且具有整体性、实战性、实用性强等优点。1998 年 11 月长江三峡大江截流也首先在计算机上进行的，发现问题后采取了相关措施，最后实际截流获得成功。另据 2001 年 10 月 24 日《中国青年报》报道：我国已研制出首台新型战机飞行模拟器，并且已投入批量生产，以装备空军。驾驶员坐在模拟器上如同坐在真飞机上一样，可完成各种战斗动作，极大节省了训练费用。而过去驾驶员要坐在真飞机上进行训练，不仅耗资巨大，而且缩短了战机寿命。

4. 进行试点研究。采用试点方法也是可行性研究的重要方法。这种方法在工程技术中不怎么用，但在社会工程中却用的十分普遍。例如关于现代企业制度，国家就进行过试点研究。1994 年，国家选择了 100 户企业进行试点，各地区各部门的试点企业则多达 2400 多户。通过几年的实践，基本摸清了建立现代企业制度的重点和难点，探索了解决这些问题的办法和途径，为实现在国有大中型骨干企业中初步建立现代企业制度的改革目标创造了重要条件。搞试点的意义在于，可以从中发现在实验室内遇不到或想像不到的情况，因为实验室的条件再逼真，也不等于实际情况，而试点就是真实的情况了。所以，通过试点可以基本证实某一项工程的可靠性程度，然后或者停止实施某一方案或

者决定大规模实施某一方案。例如飞机试飞即如此。大气情况无法在实验室内绝对准确地进行模拟,所以新型飞机只有经过试飞才能发现优点、缺点,进行改进,最后定型。据说一种型号飞机要经过数百次试飞后,才能最终定型,所以有人说,试飞成功是飞机飞上蓝天的“通行证”。搞试点研究时要注意避免人为因素的作用,而应在完全自然的环境中进行,我国近年的有些改革方案往往一试点就成功,一推广就失败,其根本原因就在于对方案进行试点研究时,加进了人为环境因素所致。

5. 直接试验。在某些情况下,还需要对设计方案进行直接试验,以检验其可行性。例如工业生产中的试运转、试生产过程,都属于直接试验的内容。

在系统分析阶段,要允许有不同意见。例如在1989年9月三峡工程论证小组向国务院三峡工程审查委员会报送的《长江三峡水利枢纽可行性研究报告》中,就附上了9位专家的不同意见。这样做的好处是:可供系统工程决策者全面考虑利弊得失后,做出稳妥决策,以避免损失。近20年来,美国先后有两架航天飞机(“挑战者”号和“哥伦比亚”号)爆炸失事,造成巨大损失,其主要原因之一便是决策者未能认真听取有关专家的不同意见。

总之,可行性研究对于系统工程是十分重要的,离开这一步,系统工程方案的实施就会出问题,导致失败的结果。

(五) 最优化(系统选择)

1. 最优化的含义。即把各种方案集中起来进行可行性研究之后,对各种可行方案进行选择,找出最有利于实现目标的方案的过程。例如,采用某一方案可以使任务完成的周期最短,人力、物力最省,取得的效益最高,危险性最小,等等。

系统工程方案的最优化选择与两个要素有关:其一是系统工程的目标。优化还是劣化是相对于系统工程目标来说的,脱离了目标,就无所谓优化问题。其二是系统方案的状况,这是方案优化的基础。如果系统方案的状况(包括质与量两个方面)不清楚,则无法优化。实际上,系统工程方案的最优化过程是把每一方案状况同工程目标之间的关系进行比较的过程。例如,采用甲种施工方案可用两个月完成任务,而采用乙种施工方案需要两个半月才能完成任务,把两个方案一比较,孰优孰劣自然就清楚了。

2. 系统工程优化的两种类型。

(1) 单目标优化。这种优化比较好办,把各种方案的实验结果作一简单比较就知道了。例如,教师在一个班里欲挑出一个个子最高的或者是数学成绩最好的学生,那是不用费力的,只要把全班学生的身高或数学成绩作一比较就

知道了，人们在商店里买苹果时，如把个头最大作为目标，则谁也不会感到为难，因为个儿大个儿小一看就知道了。

(2) 多目标优化。这种优化比较困难些。因为当评价目标很多时，往往会出现这样的情况：甲方案 A 项指标最优，乙方案 B 项指标最优，丙方案 C 项指标最优，因而很难找到一个所有指标都最优的方案。如学校里评选三好学生即如此：张某学习成绩第一，但思想品德不好；李某思想品德、工作都好，但学习成绩不佳。所以，评三好学生比单评一个学习成绩好的学生要难得多。

3. 介绍几种最优化方法。在存在众多目标情况下，可采用下述几种方法进行优化选择。

(1) 突出一个目标，兼顾其他目标的方法。例如，设计一种电视机时，我们希望它的功能要多，这是一个目标，还希望其成本要低，这是另一个目标。在这两个目标中，应当重视哪一个？一般是应当重视功能多，^{〔1〕} 否则，研制出来的电视机用处不大。在这种情况下怎么办？可以先把研制成本限制在某一范围内，如不得超过 2000 元人民币，在这个范围内，使功能达到最多。

又如，高等学校每年在录取新生时，总希望选择德、智、体三方面都优秀的学生，但实际情况表明，这三方面都达到最高指标的考生是很少的。在这种情况下，为了多招生，就可采取这样的办法：有一些对智商要求较高的学生，采用将德育和体育成绩限制在某一范围之内（即考生达到某一标准即可），然后以智育成绩高低为依据录取新生。而另一些对体育要求较高的学校（体育院校），则可采用将德育和智育成绩限制在某一范围之内，然后以体育成绩为依据来录取新生。如果稍微变动一下这种限制的范围，就会有更多的考生被挑出来供录取时挑选。

上述方法实质上也就是哲学上的抓主要矛盾兼顾次要矛盾的方法。

(2) 求加权平均值的方法。

这是一种比较简单的数学方法，步骤有四：

第一步，确定期望目标值 $u_1, u_2, \dots, u_n$

第二步，找出系统状态值 $u_a, u_b, \dots, u_e$

第三步，列出公式并计算结果

$$U = \frac{1}{n} \left(\frac{u_a}{u_1} + \frac{u_b}{u_2} + \Lambda \Lambda + \frac{u_e}{u_n} \right)$$

$\frac{1}{n}$ 这个系数的意义表示各项指标在优化中所占的比重都一样，即主体对哪

〔1〕 为贫困地区居民设计的电视机不一定如此。

一项指标都不偏爱。

第四步，对各方案的计算结果进行比较，其值最大者则为最佳方案。

上述方法实际是通过求平均值的方法找出最佳方案。如果主体对各项指标偏爱程度不同，则可通过改变各项比值的系数进行计算后再行比较，找出最大值。例如，可以这样列式：

$$U = 0.5 \times \frac{u_a}{u_1} + 0.3 \times \frac{u_b}{u_2} + 0.2 \times \frac{u_c}{u_3}$$

其中，0.5，0.3，0.2 称为加权系数（亦称权重），其总和为 1。

注意：价格指标需用价格的倒数来表示。

下面，仅以录取研究生为例说明一下：

已知某导师今年计划招收一名研究生，对成绩的要求是：政治 ≥ 60 分，外语 ≥ 50 分，综合课 ≥ 60 ，第一专业课 ≥ 70 分，第二专业课 ≥ 70 分。该导师对各门课的偏重程度为：政治课 0.15，外语课 0.15，综合课 0.20，两门专业课均为 0.25。现有三人报考，其成绩如下：

	政治	外语	综合	第一专业课	第二专业课
甲	60	50	60	80	70
乙	60	55	70	70	80
丙	70	75	65	65	60

试问该导师应录取哪位考生？

根据公式计算：

$$U_{\text{甲}} = 0.15 \times \frac{60}{60} + 0.15 \times \frac{50}{50} + 0.2 \times \frac{60}{60} + 0.25 \times \frac{80}{70} + 0.25 \times \frac{70}{70}$$

$$= 0.15 + 0.15 + 0.2 + \frac{2}{7} + 0.25$$

$$= 1.04$$

$$U_{\text{乙}} = 0.15 \times \frac{60}{60} + 0.15 \times \frac{55}{50} + 0.2 \times \frac{70}{60} + 0.25 \times \frac{70}{70} + 0.25 \times \frac{80}{70}$$

$$= 0.15 + 0.165 + \frac{14}{60} + 0.25 + \frac{2}{7}$$

$$= 1.084$$

$$U_{\text{丙}} = 0.15 \times \frac{70}{60} + 0.15 \times \frac{75}{50} + 0.2 \times \frac{65}{60} + 0.25 \times \frac{65}{70} + 0.25 \times \frac{60}{70}$$

$$= 0.175 + 0.225 + 0.217 + 0.232 + 0.214$$

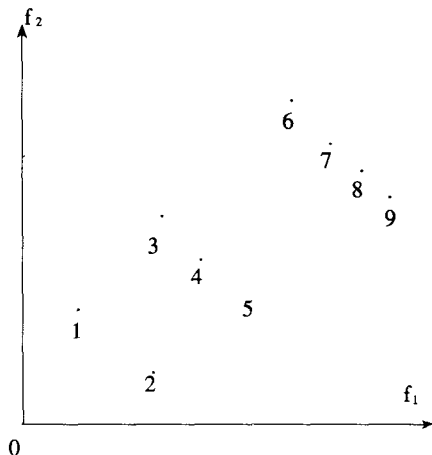
= 1.063

根据计算结果, 该导师应录取考生乙。

(3) 求非劣解法。^[1]

所谓求非劣解法, 即指有许多方案时, 可以通过相互比较, 而把那些较劣的方案舍掉, 而剩下较优的方案, 然后再根据需要进行选择。

例如, 现有 9 个方案 1、2、3、4、5、6、7、8、9, 其中每个方案都有目标 f_1 与 f_2 , 都是愈大愈好 (图二 5)。



图二 5

在这种情况下, 方案 1 和方案 2 无法区分谁优谁劣, 因为方案 1 的指标 f_2 高于方案 2 的指标 f_2 , 而方案 2 的指标 f_1 又高于方案 1 的指标 f_1 。但是如果拿方案 1 和 2 同方案 3、4、5 比较, 则显然后者比前者皆优, 因此可以把方案 1 和 2 舍弃; 同理, 方案 6、7、8、9 又比方案 3、4、5 皆优, 因而可以再舍弃方案 3、4、5; 方案 6、7、8、9 即为非劣解方案。

在剩下的四个方案中, 还可通过下述方法之一确定出最优方案:

A. 决策者和分析者事先商定一种原则和方法, 按这个原则和方法找出最优方案。

B. 分析者只提供非劣解方案, 而由决策者选择其中之一作为最优方案。

C. 决策者和分析者不断交换看法, 逐步改进非劣解方案, 直到最后找出决策者满意的方案。

[1] 刘龄德、夏国平编著:《系统工程基础》, 中央广播电视大学出版社 1985 年版, 第 309 页。

事实说明,在具体解决这一类问题时,由于要求所有目标都达到最好值是很难的,因此,必须从总的效果出发,处理好“得”与“失”的关系,有所失才有所得。

4. 最优化与最满意。

1978年,美国学者西蒙^[1](Simon, Herbert Alexander, 1916—)提出一种突破性观点,即认为最优解只在数学上、理论上存在,而在错综复杂的现实社会中是不存在的,其理由有三:

1. 由于最优标准不一,因而一个完全客观的最优是不存在的。以吃饭为例,一席丰盛的饭菜怎么才算最优?中国人说好吃,外国人说不好吃;南方人说好吃,北方人说不好吃,因为各国、各地区人们的饮食习惯不一样。

2. 最优方案即使在现实生活中存在,但在短时间内也很难获得完全的信息把它找到。如一个人饿了走进包米地找玉米吃,他要在一大片茫茫几平方公里的包米地中找出一个最大、最长、最嫩的包米来,不仅短时间内不可能,即使能够找到,人也快饿死了。

3. 事物是不断发展变化的,当你花了很长时间找到一个最优方案以后,事物又变化前进了,这个最优方案可能已不是最优了。

那么怎么办?西蒙认为应当用“满意解”来代替最优解。也就是说,人们在选择方案的时候,只求自己“最满意”就行了。因而现在也有人把优化原理叫“满意性原理”。

然而,在最满意与最优化之间又必然是有着一定区别的。最优化主要强调的是系统工程方案的客观指标,而最满意则主要强调的是用户的主观指标。因而本节作者认为二者是不能完全互相取代的。实际上,在对系统工程方案进行选择时,应当处理好二者的关系:

首先,最满意应以最优化为基础。例如,国外有人研究证明,适量喝酒对健康是有好处的,但过量饮酒则有害,因而人们为了保持健康,显然应选择适量饮酒,这样就把最满意建立在最优化的基础上了。然而有人却偏偏喜欢酗酒,认为酗酒是人生最大乐事,这种最满意就脱离了最优化的基础,而其结果显然是对身体健康无利的。

其次,最优化应以最满意为目标。我们选择最优化方案的目的是为了满足不同人类主体的最优需要,如果忽略了这一点,则最优选择便失去意义。据报载,不久前,西安菜市场的货架上摆上了一批“无公害蔬菜”,质量也很好,但消费者却少有人买,出现了所谓“叫好不听座”的现象。一调查,群众说:这

[1] 1978年,西蒙因对经济组织内决策程序方面的开创性研究获诺贝尔经济学奖。

些菜“吃得让人放心，贵得无法承受”。类似这样的最优化就无多大意义。

总之，我们在进行系统选择时，一定要把最优化与最满意两个原则结合起来，既反对只顾主体满意，不顾客观优化的唯心主义倾向，又要反对只顾客观优化，不顾主体满意的机械唯物主义倾向。

(六) 决策^[1] (决策方案)

当有关人员对各种可行方案进行反复筛选得出优化或满意方案以后，这时就要进行决策了，也就是俗话说的“拍板定案”了。决策一般由系统工程总负责人或上级负责人作出，重大决策则应交由专门机构讨论、敲定。在进行决策时，应遵循如下原则：

1. 科学性原则。首先，决策者应有一定选择空间。由于系统工程大都具有多个功能目标，因而，系统工程的优化方案往往不止一个，而是多个。其中，有的方案相对于这一目标最优，而另外的方案则相对于那一目标最优。在这种情况下，方案的制定者就不能只提供一个优化方案供领导者决策，而应提供几个优化方案供领导决策时参考，这样有利于避免决策的片面性。据美国前总统尼克松的经济顾问克莱因讲，美国总统做决策时，一般要求系统工程专家提供三个以上的方案模型，并达到 70% 以上的准确度才行，当然，重大决策还需国会批准，而国会也要求提供三个以上的方案模型进行审批。又据 2002 年 10 月 14 日《检察日报》报道：深圳对重大决策实施 AB 方案制，即拿出 AB 两套方案在群众中征求意见，让大家选择。然后政府根据多数人意见进行抉择。这种做法颇受欢迎。

其次，决策者要统观全局和未来发展。由于方案的制定者不了解全局情况，因而提供给决策者的方案往往只是某一方面的最优方案，而不是整体最优方案。在这种情况下，决策者就应高瞻远瞩，全面审查而后再行决策了。如果认为此方案不符合整体最优原则，那就应加以否定，令其再拿出新的方案，这时，决策者如果草率从事，那就容易造成大的失误。在这方面，埃及的阿斯旺水坝（1960 年兴建，1967 年蓄水，1971 年建成，为世界七大水坝之一）的工程决策就被认为是一个失败的例子。埃及在 20 世纪 60 年代搞的这个水坝主要考虑的是提高发电能力，但水坝建成以后，却产生了原来没有预料到的一系列问题：农田用水紧张；土壤盐分增加；水库和溪渠中病虫滋生；排水系统不断耗费资金；土壤贫瘠化要求施用大量化肥等等。因此，国际上公认这是一个缺乏整体考虑的失败的决策。又如，我国于 1968 年耗资 2.88 亿元修建的南京长

[1] 这里所讲的决策是指狭义决策，广义决策包括上述系统研制的全过程。

江大桥，曾对沟通大江南北，促进国家经济建设作了巨大作用，然而自 20 世纪 80 年代以来，人们发现：南京长江大桥的钢梁离水面太低，很多船舶根本无法从桥下通过。原来设计净空高度时，只考虑到 4000 吨以下的船舶，而没想到几十年后往来船舶会增加到 4000 吨甚至万吨以上，结果长江大桥成为长江流域经济发展的制约因素。

再次，决策要考虑市场需求状况。例如，1998 年 11 月建成的铱星系统曾被认为是 20 世纪最辉煌的高科技成就，它的通信网能前所未有地覆盖到全球每一个角落，到 2000 年 3 月，运营铱星系统的铱星公司突然宣布破产关闭，给持股人造成巨大损失。原因何在？一是通信费用太高，达每分钟 7~9 美元，二是用户太少，只有 5.5 万用户，而它要实现赢利至少需要 50 万用户。于是该公司资不抵债，只好匆匆破产。

最后，决策要果断，防止犹豫不决。由于技术人员提供上来的优化方案往往是好几个，因而领导者必然要经过一个反复思考和比较的过程才能最后做出决策。然而这个过程要尽量短些，不能长时间犹豫不决，以至贻误大事。

关于这一点，有一个小故事可为借鉴。

传说过去有一头聪明的小驴，它饿了，便到原野上找东西吃。冬天的原野上很少有东西，它找了又找，总算找到两堆干草。可是先吃哪一堆呢？小驴总也拿不定主意，于是它在两堆草之间不停地徘徊，最后竟饿死了。

这个故事是哲学家布里丹讲的，所以，人们都把这个小驴叫“布里丹小驴”，因优柔寡断而贻误大事的现象被称为“布里丹小驴效应”。在日常生活中，这种“效应”有多少啊！如有人到商店买东西时，不知挑哪个好；投票时总是拿不定主意投谁；在搞行政工作还是搞学术研究两条道路上举棋不定等，结果无不造成损失。

这个故事还表明，在正常决策过程中，人们是应当对各种方案进行反复思考、比较的，直至最后找出最佳决策方案。但是应当注意，这种反复思考不能沿原思路循环，而每思考一步必须在选择上也前进一步，这样多次反复之后，对某种方案的趋向性就会愈来愈明显，最后决策才能完成。

2. 民主化原则。

首先，要尽量采用群体决策。决策类型从主体上说有单体决策与群体决策之分。以往的决策一般都是单体决策，也就是一个人说了算。如封建社会的决策即如此：国家大事皇帝说了算，一家一户小生产的决策也是这样，家长敲定就行了。事实说明，这种单体决策的方法是极易造成失误的，因为个人的能力再强，知识面再广，也毕竟是有限的，因而决策就难免带有片面性，如过去讲的“一言以兴邦，一言以丧邦”就是单体决策的恶果。群体决策则可以尽

量避免这种弊病，因为人多智慧多，知识广，考虑问题全面，这样做出的决策相对更可靠些。我们党有一个优良传统，大事由领导者集体决定，然后个人去办，这就体现着群体决策的方法。当然，鸡毛蒜皮小事也要靠群体决策，集体讨论，那是没必要的。

其次，要注意民主集中式决策。其特点是，最终决策还是由少数人做出，但在决策前要充分听取和采纳群众意见。本题前面讲的“深圳决策实行 AB 制”可视为这种民主集中制决策一例，实行民主集中制决策既可有效避免片面性，又可适当降低决策成本。

3. 法律化原则。

这也就是说，系统工程决策要有法律依据和法律保障。如果某项决策违反法律，或执行决策时缺少法律保障，则任何系统工程决策都会成为一纸空文。

总之，决策阶段是系统设计中最关键的阶段，决策正确，整个系统工程就有了成功的最大希望，否则就会导致失败，造成人力、物力的巨大浪费。

(七) 实施计划

当系统工程方案已被决策者确定下来之后，紧接着就要实施这个方案了。在系统实施阶段要做的工作很多，主要应注意如下四方面问题：

1. 要有详细的实施计划。为决策者确定下来的方案，大都是原则性相当强的东西，很少能直接加以实施。因此，必须要有详细的实施方案和计划。如，人员怎么组织？物质怎么分配？款项如何使用？进度如何安排？等等。在这方面计划稍有不周，方案就不可能得到顺利实施。

2. 要向全体参加施工的人员讲清本系统工程的总目标及实施方案的基本内容，以发动群众，做好实现方案的各项准备工作。据报道，日本的很多大企业领导者在做出决策后，并不马上强制推行，而是先让职工学习、消化（这相当于打仗时的战前动员），然后才具体进行贯彻。这样一来，职工的积极性非常高。

3. 在实施方案过程中及时对原定目标和方案进行修正。在搞一项大的系统工程时，对目标的确定和方案的选择，要尽可能地保证正确性、可行性和最优化。然而，由于情况的千变万化以及认识能力方面的限制，要做到百分之百的正确和可靠，是很难达到的。那么，在实施中发现了问题怎么办？那就要迅速进行修正，如发现目标定的不合适则修正目标，若发现方案有问题就修正方案。如果发现这两者都有较大问题，那就要赶快停止工程的实施，以防造成更大浪费或失败。

在实施某一系统工程方案过程中，不仅要注意对原定目标进行修正或调

整，而且要注意对施工人员的行为进行修正或调整。事实说明，人们在实施一项长期计划时，往往会犯“只顾低头拉车，而不顾抬头看路”的错误，这样，就会使自己的行为不知不觉偏离既定目标，因此，系统工程负责人在实施某一方面方案时，必须经常检查施工人员的行为，看其是否存在与原定目标不符合之处，如果有，就要及时纠正。

例如，我国著名病毒学家田波院士及有关人员长期从事副粘病毒与细胞融合机理的研究，2003年春SARS病毒肆虐，严重危害人民健康，田波院士从国家战略需求和世界科学前沿的变化实际出发，当即决定调整研究对象，全力投入抗击非典的攻坚战，并很快取得成果：找到能够抑制SARS病毒与细胞融合的多肽，在10亿分之几克分子（n Mole）的低浓度下，即可有效阻止SARS病毒进入宿主细胞，从而为进一步开发抗击SARS病毒的药物带来了希望（2003年5月28日《科技日报》）。

4. 在系统初步实施以后，要以确保系统正常运转为目标，对系统总体进行试验或评审。若经过试验或评审，确定系统能够正常运转，则系统实施阶段便告结束。

三、时间维

这一维表示的是系统工程活动从规划到更新的时间排列顺序，分为七个工作阶段：

（一）规划阶段

指制定系统工程活动的规划和战略对策。例如，三峡工程就是从1958年1月开始，到1959年正式完成规划的。规划的名称叫《长江流域综合利用规划要点报告》。

（二）设计阶段（拟订方案阶段）

指做出一个详细、明了、切实可行的工作计划。三峡工程的初步设计是在1960年底完成的，有两个报告：其一是《三峡水利工程枢纽初步设计要点报告》；其二是《初步设计报告》（草稿）。《报告》中推荐了三斗坪坝址，提出了正常蓄水位200米方案的建议。后来三峡工程建议进程因故推迟。1982年以后，长江流域规划办公室又根据水电部指示提出了《150米方案三峡水力枢纽可行性研究报告》，继而又有160米，170米，180米方案提出，直至1989年9月，三峡工程论证小组才又正式向国务院三峡工程审查委员会报送了经重新论证的《长江三峡水利枢纽可行性研究报告》、14个专题论证报告和9位专

家的不同意见。《报告》中推荐的是正常蓄水位 175 米的方案。

（三）研制阶段

这一阶段的主要任务是以上述两个阶段的结果为原则，进一步完善方案的各项指标，并制定出生产计划。例如，经专家们反复研究和论证，三峡水利枢纽工程计划分三期进行施工：除准备工程工期 3 年外，一期工程 3 年，二期工程 6 年，三期工程 6 年，全部工程 15 年建成。在每一期工程中还都有一系列具体计划指标。

（四）生产阶段

该阶段的主要任务是生产出组成整个系统的所有基本要件，并提出安装计划。

（五）安装阶段

该阶段的任务是按既定方针将基本要件组合成一个整体，以完成系统的运行计划。可分为局部安装和整体安装两个阶段。

（六）运行阶段

指系统按预定目标正常发挥功能阶段。例如葛洲坝水力工程、京九铁路工程、大亚湾核电站工程等目前就处于运行阶段。

在运行阶段，应注意三方面问题：

1. 要按照原设计能力运行。

任何一个系统工程，都有一定的设计能力，在使用时，既不能超过原设计能力，又不能太低于原设计能力，否则，或者会导致事故，或者会造成浪费。例如，一座桥梁原设计的承受重量为 10 吨，如果一辆载重 15 吨重的汽车要过去，那就很危险，如超过其保险系数，桥梁还可能断裂。又如，一座水库原设计蓄水能力 1 亿立方米，可实际蓄水只达二千万立方米，甚至根本无水可蓄，那就造成浪费了。

2. 要注意调整和维护，以保证系统工程处在最佳工作状态，发挥出最大功能。

所谓调整就是要不断改善系统工程内部各要素、各层次之间的结构关系，以及系统工程同环境的关系。只有不断进行调整，才能经常保持系统工程的最佳工作状态。例如，看电视要想获得满意的图像，就必须不断调整各个旋钮并且要转动天线等。对于国民经济各个部分之间的比例关系以及国内外之间的关系也必须不断调整才行。

维护包括两个方面：一方面是防止系统遭到破坏；另一方面是当系统遭到破坏后及时进行修理。例如，不看电视的时候，要给电视机盖上罩子，防止显像管上落上灰尘，阻碍发射电子，如果有的零件坏了，则要及时更换元件。对于城市地下管道系统，要防止施工时不小心损坏，或违章操作导致管道堵塞，一旦发生了问题，要及时进行疏通或更换旧管。

3. 要对使用过程进行监督和管理。

由于用户在使用系统工程过程中，容易违规操作，造成系统工程损坏，因而主管单位应对使用过程进行监督和管理。在监督和管理中，要建立必要的制度，以便发现问题，及时解决。

（七）更新阶段

系统的更新换代是系统工程中的最后一个环节，也是很重要的一个环节。因为任何一个系统效能的发挥都有一定的时空条件限制，时空条件一旦发生变化，原系统就要老化，功能就发挥不出来了，这时就需要大胆地更新，就不能再抱残守缺了，否则就会落后于实践的需要。例如，电子计算机从产生到现在已经历五代了（第一代是电子管的，第二代是晶体管的，第三代是集成电路的，第四代是大规模集成电路，第五代是超大规模集成电路），其运算速度愈来愈高；显微镜从产生到现在亦已经过了光学显微镜——电子显微镜——扫描隧道效应显微镜等阶段，看到的物体愈来愈小；火车从产生到现在也已经历了三个阶段：第一阶段是蒸汽机车，第二阶段是内燃机车和电力机车，第三阶段是刚刚开始磁悬浮列车。总之，正由于这些认识工具和生产工具的不断进步和更新，才推动了人类科学认识和社会生产的不断发展。

工厂生产日用消费品也是这样，一种产品制造出来了，物美价廉，很快打开了销路，但过不了几年，它就要变得陈旧，不适应人们需要了，销路也就会愈来愈少，这时，要想开创生产新局面，就必须及时地对旧产品进行淘汰；设计受人欢迎的新产品，以重新打开销路。例如，美国苹果电脑公司平均每周都要宣布一项新产品问世，意大利贝内通服装公司大约每个月就要把挂在它的各店铺中的服装全部更换一次，日本索尼公司在半年之内就向英国推出 101 种新的音响设备、电视机和录像产品。正因为这样，这些公司才能在激烈的竞争中始终立于不败之地。有人在形容这些公司的创新精神时用了这样两句话：市场变化莫测，技术不断更新；顾客喜新厌旧，产品推陈出新。真是恰到好处。

总之，当今的世界是竞争的世界，怎样竞争？最重要的一点就是要通过不断创新来竞争，没有创新，就没有生命力，就必然要在竞争中失败。

上面这些，就是霍尔三维结构法的基本内容。社会实践表明，使用该方法

可以较好地解决一些大的系统工程的设计、组织和管理问题，收到事半功倍的效果。除此之外，还有其他一些系统工程方法的形式，为日本人发明的“三阶段”法（1. 系统开发阶段。①系统开发的计划阶段；②系统开发的实施阶段。2. 系统建造阶段。①系统建造设计阶段；②系统建造实施阶段。3. 系统运行阶段）等。由于本书不是系统工程方面的专门性著作，恕不一一介绍了。

第四节 系统工程方法之二：计划协调技术（PERT）

日常生活表明，人们无论做什么事情都应事先有一个计划。如需要多少人？得花多少钱？多长时间才能完工？每一步都干什么？等等。事实说明，有没有一个好的计划是事情能否办成功的关键。古人云：凡事预则立，不预则废。这个“预”就包括计划在内。PERT 就是一项搞工程计划的方法。

早在 20 世纪 60 年代以前，人们做工程计划时一般用的是美国人甘特 1917 年发明的横道图技术。具体而言，也就是用横坐标代表时间，纵坐标代表工序，把各道工序起始与结束日期用一个横道（线条）表示出来的方法。下面是一个钢筋混凝土的横道图（图二 6）。〔1〕

施工过程	工 作 日											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
加工模板												
加工钢筋												
挖土垫层												
扎 筋												
支 模												
烧混凝土												

图二 6 钢筋混凝土柱基横道图计划

横道图的优点是：绘制简单、容易判断。缺点是：不利于表示各项工作之间的逻辑联系。另外，它也表示不出在整个工程中，哪些是主要的或关键性的环节，因而不利于整个工程的管理和协调。最后，它也不利于对整个工程进行

〔1〕 此图引自《施工组织与管理》，四川科学技术出版社 1986 年版。

优化处理。正因为其有这些缺点，所以长期以来，工程技术人员一直在设法改善这种画横道图的计划方法。

1957年1月，美国杜邦公司发明了一种用图解理论来制定计划的方法，当时定名为“关键路线法”（CPM技术）。〔1〕次年3月，该公司决定把它用于建造一个价值一千万美元的化学工厂，但同时不放弃老的计划方法。于是他们分成两个组，一个组按关键路线法制定规划，另一个组仍按甘特法制定计划。结果发现，前者算出来的工期比后者少两个月，而且后来由于某些技术原因需要调整计划，结果用关键路线法制定的计划只需调整10%，而后者则需要完全推倒重来。这一比较，关键路线法的优越性一下子显示出来。

1958年，美国海军特种计划局在研制“北极星”导弹过程中，与洛克希德公司和波亚汉顾问公司合作，又发明了一种以数理统计为基础、以网络分析为主要内容，以计算机为手段的新型计划管理方法，即“计划评审技术”（PERT）。〔2〕由于采用这一技术进行进度控制，使导弹发射计划提前两年完成。上述方法具有结构清晰、易于把握进度和进行优化处理等突出优点，所以发明出来以后，很快就为加拿大、英国、德国、法国、日本以及前苏联普遍采用，并获得了巨大经济效益。我国20世纪60年代初期开始推广和应用该项技术，并取得一定成果。如1963年我国在研制第1台电子计算机时就采用了这种管理技术，使整个任务提前完成。1965年，著名数学家华罗庚在推广这项技术时，把它叫“统筹法”，即统筹安排之意。近几年来，越来越多的部门和单位都在采用该项技术制定工作计划，取得了显著效果，因而引起人们的重视和欢迎。

由于上述方法都是建立在网络模型的基础上，所以后来被统称为网络分析技术，即把一个工程看成是一个网络系统，然后通过统筹规划，合理安排人力、物力、财力，达到以最少时间和最少资源消耗来实现系统预期目标的一种技术。

计划协调技术有三个基本阶段的工作：（一）计划准备；（二）计划制定；（三）计划实施。下面分别予以简要介绍。

〔1〕 CPM 即 Critical Path Method 的简称。

〔2〕 Program Evaluation and Review Techigue 的简称。

一、计划准备

(一) 思想准备

1. 确定任务。计划协调技术是从确定任务开始的。例如是修一条铁路？还是建一个商业中心？抑或开发一种新药？等等。在我国计划经济时代，任务通常是由上级下达给施工单位的。在市场经济条件下，则主要是通过招标、投标、中标的方式来确定。例如，2003年5月，我国南水北调东线一期工程的招投标工作在互联网上进行。由于当时处于抗击非典的特殊时期，水利部组织有关部门将全部标书用特快专递的形式送达位于江苏省扬州的工程组织部门，竞标过程和开标结果均在江苏水利网上同步进行。截至5月14日时，已有来自全国各地30多家投标单位通过互联网参与了竞标，投标书达70多份。若其中一个投标单位的投标书中标，则该投标单位的任务也就确定下来了。

2. 明确目标要求。任何一项任务都有一定的目标要求。系统工程的目标要求是综合的，但按其侧重点，大致可分为三类：

第一类，以时间要求为主。如规定一项工程从什么时候开始，在什么时候结束，或只对工程工期做出规定。如我国长江三峡水力枢纽工程原设计从1994年开始到2009年结束，工期15年，^{〔1〕}又如北京奥运主体育馆工程要求在2008年奥运会召开前18个月建成。

第二类，以资源要求为主。也就是预计完成某项工程需用多少设备或材料等。

第三类，以费用要求为主。也就是规定出完成某项工程不能超过多少钱，有个投资总额。例如，我国江苏某核电站工程建设项目投资总额为265亿9320万元，北京奥运主体育馆投资总额为32亿元，等等。

本书只限于介绍以时间要求为主的计划协调技术。其他两方面内容，读者可查阅专业书刊。

3. 分解任务。所谓分解任务就是把一个总的任务分解成各个部分和各个阶段，以便于基本职能单位加以完成。分解任务时应注意两方面要求：

第一是横向分解。即把一个大任务分解成若干组可以同时进行的小任务。例如2003年春夏之交的北京抗非典工程便分解成了众多相互关联的部分，其中有科技攻关、医疗物品采购、医院改造、治安管理、医疗救护、公共卫生、信息管理等。

〔1〕 由于工程进度较快，可能提前建成。

第二是纵向分解。即把一个大任务分解成若干阶段来完成。例如，三峡工程从1994年开始建设到2009年全部建成，整个工程预计分为三个阶段。第一阶段：从1994年—1997年，要在三峡坝址长江三斗坪的南岸开挖一条长2公里多，宽约350米的新长江航道，这叫“导流工程”，同时进行两岸土石方建设。第二阶段：从1998年到2003年，长江截流后修筑大坝，与此同时进行的第一批发电机组将于2003年开始发电。第三阶段：从2004年—2009年，截断导流航道（实际已于2002年底完成），同时建起大坝厂房、发电厂、船闸（已于2003年6月试通行）等配套工程，宣告三峡工程竣工。

在分解任务时，要注意和组织管理体制相适应。对于领导机关来讲，最重要的是要统观全局、把握关键，因此，任务可以分解的粗一点。对于基层领导而言，则要负责具体的组织和指挥工作，因此，应把任务分解得细一些。

4. 找出每件工作的开始事项和结束事项。经验表明，任何一件工作都是由众多事项构成的，而在这些事项中，必然有一个是工作开始要做的，也必然有一个是在工作末尾所要做的。前者叫该件工作的开始事项，后者则叫该件工作的结束事项。例如某建筑公司承包一项工程，首先要签订合同，这是开始事项；完工后要验收交工，这是工程的结束事项。在前后相继的两件工作中，前一件工作的结束事项也是后一件工作的开始事项。就整个系统工程而言，开始事项和结束事项都只有一个。

5. 确定各种工作之间的相互关系。在一项大的系统工程中，往往包含成千上万件工作，这些工作都是密切相关的，组成一个复杂的系统整体，所以从事系统工程组织与管理的人必须事先把这些工作之间的关系搞清楚。在确定各件工作之间关系时，应注意两方面情况：

(1) 序贯关系，即按时间先后形成的关系。其中，与每件工作紧密相连的前一件工作称之为该件工作的紧前工作或先行工作；而与每件工作紧密相连的后一件工作，则称之为该件工作的后续工作或叫紧后工作。例如，一台机床的大修过程可以看成是一个系统工程，按程序来说可分为拆卸——检修——组装——试车等项工作，这些工作是一环套一环、一件挨一件的，顺序不能差了。在确定各项工作之间的先后顺序或相互关系时，要注意以下几点：

第一，每件工作前有多件紧前工作；第二，每件工作有多件后续工作；第三，某件工作无紧前工作。在此种情况上，则该件工作的开始事项也就是整个工程的开始事项。第四，某件工作无后续工作。在这种情况下，则该件工作的结束事项也即整个工程的结束事项。

(2) 并行关系，即同时性关系。在一项工作进行过程中，往往有些其他工作可以与之同时或平行地进行。这些工作就称之为同时性工作或平行工作。

例如，在盖一座大楼之前，可以抽上一部分人员挖地基，同时还可让一部分人员加工钢筋，这两件工作就是平行工作。在把握同时工作时也要注意两点：第一，如果一项工程由很多平行工作组成，则该项工程必形成一个网络；第二，如果一项工程的所有工作都只有序贯关系，而无并行关系，则该项工程必是一条独立的流程线，如上述机床大修过程的例子即如此。

（二）技术准备

前面各项工作属于思想上的准备（定性认识），在这一步完成之后，还要进一步做好技术准备（定量处理）。

1. 要规定好事项和工作的符号表示法。

在网络图技术中，一般用英文字母 A、B、C……表示工作，而用符号 i 表示一件工作的开始事项，记作事项 (i)，用符号 j 表示工作的结束事项，记作事项 (j)。画图时规定事项都用带有数字的圆圈、长方形或菱形等封闭、醒目的图形表示。这样，一件工作就可以表示为：工作 (i-j)，作图时则可以直接表示为① $\xrightarrow{\text{工作}}$ ②或① $\xrightarrow{A}$ ②。

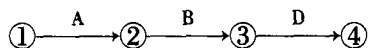
2. 紧前工作表示法。

当网络图中的两件工作存在先行与后续关系时，可以用符号 < 表示，如 A < B 表示 A 是 B 的紧前工作，而 B 是 A 的后续工作等。但在工作事项明细表中，亦可直接用短横线表示无紧前工作或用紧前工作的标号直接填入表格中（图二 10）。

3. 要规定网络图的画法。

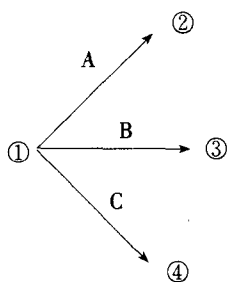
网络图的画法主要有这么几种：

（1）串联法。如果各项工作之间的关系是“序贯联系”关系，则采用串联画法。下图即是一个串联图形（图二 7）。



图二 7 串联表示法

（2）并联法。并联法主要表示各件工作之间的平行关系。例如，某工程中 A、B、C 三件工作是具有同一开始事项的平行工作，用并联法表示则为（图二 8）。



图二 8 并联表示法

(3) 虚工作表示法。所谓虚工作就是指不消耗任何资源但在网络图中又占有一定逻辑位置的工作。在作图时，虚工作用虚箭线表示（图二 9）。

工作



图二 9 虚工作表示法

4. 工作、事项明细表画法。

在对一项工程的所有工作、事项及其相互关系都有了明确认识以后，就要用一个图表将其展示出来（图二 10）。

工 作	紧前工作
A①→②	——
B①→③	——
C②→③	A
D②→④	A
E③→④	B、C

图二 10 工作事项明细表

5. 根据工作事项明细表画出工作流程图。

第一步画出工作 A；

第二步画出工作 B；

第三步根据工作关系画出工作 C；

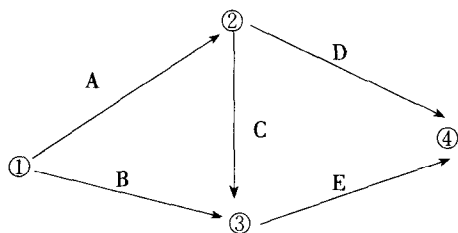
第四步画出工作 D；

第五步根据工作关系画出工作 E。

这样，一幅工作流程图（网络图）就形成了（图二 11）。

6. 作图注意事项。

(1) 网络图的连续性。就一项任务而言，如果最初事项只有一个，最终

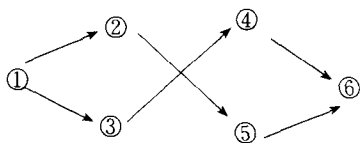


图二 11 工作流程图

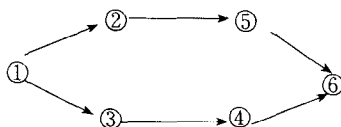
事项也只有一个，那么，沿着工作进程的方向从最初事项到最终事项将依次经历所有的工作和事项，而不能有中断和前后无关联的孤立工作和事项。表现在网络图上，就是不能有开口，如果有开口，那就表明你对各项工作之间的联系尚未搞清，因而本图也还未形成网络。

(2) 网络图的不可逆性。网络图上的工作，只能随时间的推移而向前推进，不可能逆过来做。也就是说，网络图上任何一件工作的开始事项 i 的实现时刻，都不能迟于结束事项 j 的实现时刻。表现在图上，就是箭头不能相反。

(3) 网络图要避免箭线交叉现象。网络图要尽量绘制得清晰醒目，避免箭线交叉现象。下面左图就是不合格的网络图（图二 12），应把它改成合格网络图（图二 13）。



图二 12 不合格网络图

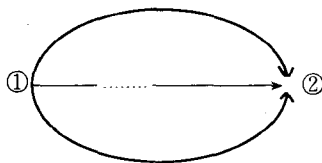


图二 13 合格网络图

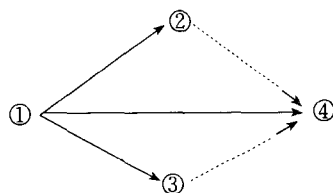
(4) 网络图中不允许有曲线。网络图是由平直箭线构成的，不能出现曲线（图二 14），若遇有起点和终点事项共同的几件工作时，应新增设事项号然后用虚线与终点事项联结起来（虚工作）（图二 15）。

二、计划制定

当计划准备阶段的工作做完之后，就要进入计划制定阶段了。所谓计划制定，就是指对计划进行定量化处理并在网络图上加以标示的过程，具体包括如



图二 14 错误网络图



图二 15 正确网络图

下一些内容：工作完成时间计算；事项的时间参数计算（事项的最早开始时间、最迟结束时间、事项的时差）；工作的时间参数计算（工作最早开始和结束时间，工作最迟开始和结束时间，工作的总时差和单时差）。关于后两方面的时间参数计算，本书不拟介绍（读者可参阅有关系统工程的专门著作），下面仅就工作完成时间的计算及图上标示做一概略说明。

（一）根据经验估算出每件工作的三个可能完成周期

完成周期的单位可以是天（日），也可以是月或年。

网络图技术规定，每件工作的三个可能完成周期分别是：

1. 最短时间 a ，即根据经验判断，工作处于特别顺利情况下的完成时间，概率为 1%。
2. 最长时间 b ，即根据经验判断，工作处于特别不顺利情况下所需要的完成时间，概率为 1%。
3. 最可能时间 m ，即根据经验判断，完成本件工作最可能占用的时间。

把这三个时间按照 $a - m - b$ 的顺序标在网络图的每一件工作上，就得到一个新的网络图（也叫计划流程图 I）（图二 16）。例如，假定图二 11 中每件工作的三个完成时间分别是：

A: (1—2—3) E: (2—4—6)

B: (4—5—6) D: (3—4—5)

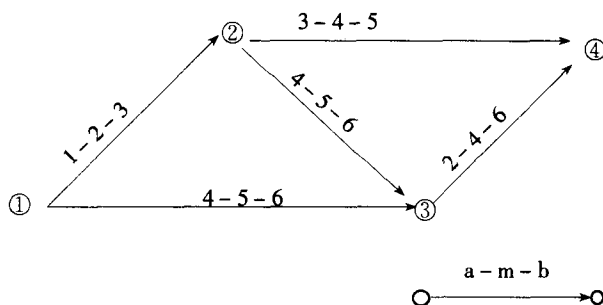
C: (2—3—4)

则将数字标示图上即成为图二 16：

具体时间单位可根据任务而定，年、月、日均可。

（二）工作预计完成时间的计算及标示

在网络图（PERT）中，一般只标出每件工作的三个完成时间是不够的，



图二 16 带三个工作完成周期的计划流程图

还应当根据主客观条件，对每项工作的三个完成时间做出综合预测，得出工作预计完成时间。

工作预计完成时间的计算方法是：

$$T_e = \frac{1}{6} (a + 4m + b)^{[1]}$$

现在，我国按照这个公式把图二 14 的预计完成时间计算一下，则会得出：

Ate = 2 (天) Dte = 4 (天)

Bte = 5 (天) Ete = 4 (天)

Cte = 5 (天)

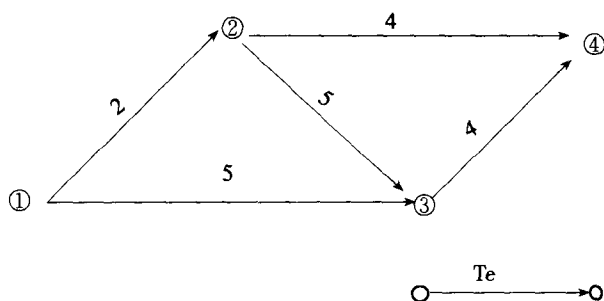
把这些数字加以标示，就得到另一种形式的网络图（计划流程图 II）（图二 17）：

（三）各条工作线路的完成时间计算

从网络图的最初事项出发，沿箭头方向抵达终点事项，可以有很多条线，这些线就叫“工作线”或“流程线”，用 L 来表示。如在图二 15 中就有三条工作线：

$$L_1: ① \rightarrow ② \rightarrow ④$$

[1] 对于这个公式，华罗庚（1910~1985）教授曾解释说：当假定 m 的可能性两倍于 a 的可能性时，则 m 和 a 的加权平均值为 $\frac{2m+a}{3}$ ；同样，当假定 m 的可能性两倍于 b 时，则 m 和 b 的加权平均值为 $\frac{2m+b}{3}$ ，如果这两个加权平均值各以 $\frac{1}{2}$ 的可能性出现，则总的加权平均值为 $\frac{1}{2} (\frac{2m+a}{3} + \frac{2m+b}{3}) = \frac{a+4m+b}{6}$ 。



图二 17 带工作预计完成周期的计划流程图(时间单位:天)

$$L_2: ① \rightarrow ② \rightarrow ③ \rightarrow ④$$

$$L_3: ① \rightarrow ③ \rightarrow ④$$

工作线路的完成时间(路长)等于该线路上的各件工作完成时间之和。
如图二 15 中各条工作线的路长为:

$$L_1 = ① \rightarrow ② \rightarrow ④$$

$$= 2 + 4$$

$$= 6 \text{ (天)}$$

$$L_2 = ① \rightarrow ② \rightarrow ③ \rightarrow ④$$

$$= 2 + 5 + 4$$

$$= 11 \text{ (天)}$$

$$L_3 = ① \rightarrow ③ \rightarrow ④$$

$$= 5 + 4$$

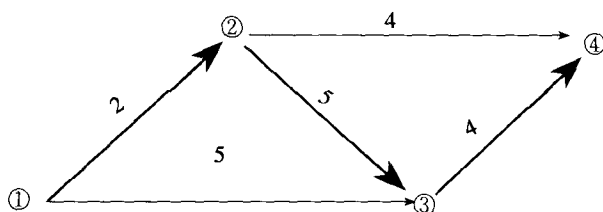
$$= 9 \text{ (天)}$$

(四) 关键线的确定及图上标示

所谓“关键线”，就是指在网络图中完成时间最长的工作线，也叫“紧急线”或“主要矛盾线”。

为什么所完成时间最长的工作线叫“关键线”呢？这是因为：这条线上的工作完成时间也就是整个工程的完成时间。这条线上的工作拖一天，整个工程的完成时间也就拖一天；这条线上的工作提前一天完成，整个工程也就可以提前一天完成。由此可见，这条线是关系到全局的，必须集中主要力量完成这条线上的工作，所以这条线就叫“关键线”，这条线上的工作就叫“关键工作”，这条线上的事项就叫“关键事项”。

很显然，在图二 15 中， L_3 即①→②→③→④是该项工程的关键线路。在网络图中，一般用红线或双线表示关键线（如图二 18）。



图二 18 带关键线的计划流程图

在网络中，关键线以外的工作线叫“富裕线”。因为在这些线上的工作做完以后，距离整个工程的完工日期还有一段富裕时间。作为工程负责人，在富裕时间内可以安排职工做其他一些事情，如进修学习，探亲休假，或到关键线路上帮助工作，等等。

这里要注意，关键线和富裕线都是可以变化的。如果关键线上的工作或事项不抓紧，拖拖拉拉，一旦利用时间超过了关键线上工作完成所需时间，则富裕线就会变为关键线。所以，工程负责人在集中精力抓好关键线上的工作时，对于富裕线上的工作也不能放松，绝不能使它的完成时间超过关键线的完成时间。

（五）给网络图标出日历日期

在网络图中，有时还需要标出完成工作的日历日期，以显得更加醒目，便于领导者和群众掌握工作进程。

日历日期如何表示？

首先，要确定网络图中始点事项的实现日期，然后依次计算出关键事项的实现日期（必要时，非关键事项的实现日期也要计算）。

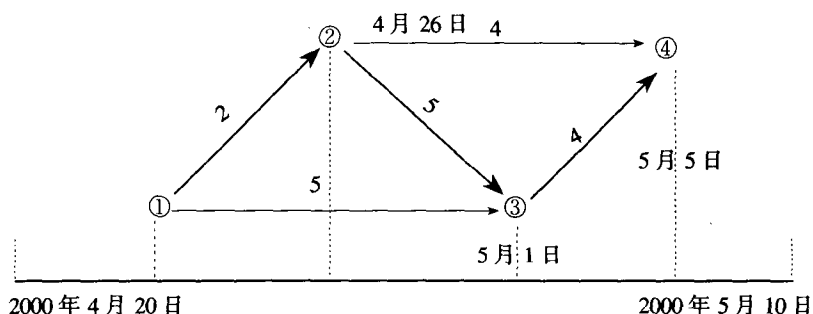
仍以图二 16 为例，假定工程是从 4 月 15 日开始施工的，则经过计算可知：

事项②的实现日期为 4 月 15 日 + 2 日 = 4 月 16 日。

事项③的实现日期为 4 月 17 日 + 5 日 = 4 月 21 日。

事项④的实现日期为 4 月 22 日 + 4 日 = 4 月 26 日。

其次，把关键线上的日期标在事项号下，并在网络图下面画一横坐标以表示日期，这样，就形成一个标有日历日期的计划流程图（图二 19）：



图二 19 带日历日期的计划流程图

从图中可以看出，这项工程的预计完成日期为2002年5月5日。顺便指出：如果该项工程为一般性工程，则计算完成日期时，应将法定假日减去，这样工程完成日期就要推迟。但若是工程要求比较紧，计算工期时则可不考虑法定假日（本工程为紧急工程）。此外，在计划流程图中，一般只标出紧急线上事项的日期，但在某些情况下，非紧急线上的工作日项也要标上日期，以便详细掌握进度。但非紧急线上的事项日期应用括号括起来，以示区别。

（六）网络图的分析、平衡与优化

当对网络图的各种时间参数计算完毕并标示于图上之后，还要结合工程完工期、资源数量、成本费用等方面的实际变化情况对网络图做出动态分析、综合平衡和优化选择，最后才能将计划确定下来。本书不拟对此做详细解释，读者如有兴趣，可参阅有关系统工程的专门著作。

三、计划的确定与实施

在结合实际情况对网络图进行综合分析、平衡与优化处理之后，计划就可以确定下来并进入组织实施阶段了。在实施计划时，要特别注意如下三点：

1. 建立和健全严格的岗位责任制。
2. 建立和健全严密的组织管理制度。
3. 建立和健全系统的组织管理机构。

此外，为了及时协调计划和技术问题，工程负责人还应亲自主持和召开定期和不定期的调度会，会上对整个任务目前进展、存在问题及下一步工作准备情况进行全面检查，着重讨论关键工作和关键事项。随着任务的不断进展，有

时还需调整计划的进度，变更工作的安排，甚至对工作完成周期有时也要重新做出估计。

计划协调技术（PERT）是解决系统工程问题时所采用的定量化技术之一，除此之外，系统工程方法中还有其他一些量化技术，诸如线性规则、非线性规则、动态规划、排队论、存贮论、博弈论、搜索论、可靠性理论等等。读者如有兴趣，可参阅专门的系统工程学著作，囿于本书的“概论”性质，恕不一一介绍了。

第五节 系统工程方法的基本原则

系统工程方法既是一种解决复杂问题的思维方法，又是一种解决复杂问题的实践方法，因而无论在人们认识世界方面，还是改造世界方面，系统工程方法都是有着普遍适用性的。但由于系统工程方法步骤繁杂，又涉及到较多的数学计算问题，因而不易为一般读者所掌握和应用。为此，本节拟将系统工程方法的基本原则加以归纳和概要叙述，希望能为一般读者在认识问题和解决问题时提供科学指导，以便增强工作效率，取得满意成果。

根据作者理解，人们在应用系统工程方法去认识问题和解决问题时，主要应遵循如下一些原则和步骤：

一、目的——目标原则

无论什么样的系统工程都有一个明确的目的或目标。可以说，目的和目标是系统工程方法的逻辑起点。目的和目标定得正确，系统工程就有望成功，否则必遭失败，所以有人说，目标定的正确，就等于成功的一半。目标对系统工程的作用主要表现为：（一）为系统工程的实践者提供精神动力；（二）为系统工程实践者提供指导方向；（三）为系统工程提供评判标准：一项系统工程达到了既定目标就是成功的，未能达到既定目标就是失败的。系统工程的目标不是随意想像出来的，而是主观愿望与客观实际相结合的产物，脱离客观实际的目标只能是幻想，而离开主观需要也不可能形成目标。系统工程的目标既有定性 with 定量之分，又有全局与局部之别，其中任何一方面都不可偏废。总之，搞系统工程，目的性原则是必须首先加以注意和遵循的。

二、综合——整体原则

系统工程都不是由单一性质的工作构成的，而是由具有各种不同情况的工

作构成的，这些工作也不是机械的组合物，而是一个有机联系的整体。其中任何一个部分或环节的变动都会导致整体的改变。例如，培养人才作为一项系统工程就是由德育、智育、体育、美育、劳（动）育、纪（律）育等多方面工作构成的整体式过程，忽视任何一个方面的工作都会造成人才素质上的缺陷；全面建设小康社会也是一项系统工程，它是由经济建设、政治建设、法制建设、道德建设、文化建设等多方面的工作构成的整体；忽视了任何一个方面的建设，都会造成未来社会的畸形发展。因此，我们在搞任何一项系统工程时，都应充分注意其综合性和整体性，防止犯单打一的片面性错误。

三、结构——程序原则

系统工程都是由成百上千甚至上万件工作组成的复杂体系，这些工作之间既有着严密的空间结构，又有着紧密相连的时间链条。因此人们无论是设计、组织还是管理一个系统工程都必须注意各件工作之间的空间关系和时间顺序（程序）。否则，系统工程就会陷入混乱，造成人、财、物的巨大浪费，甚至使系统工程无法完成。让我们把发展生产力作为系统工程而言吧。首先要注意生产力各要素之间的结构关系，其中，既要注意劳动者、劳动资料、劳动对象以及科学技术四者之间的结构关系，又要注意各生产力要素内部的结构关系，如果结构不合理，生产力的功能就难以得到充分发挥。其次要注意生产力在展开过程中各个阶段之间的关系，主要是生产、交换、分配、消费四个环节之间的关系。没有生产，生产力各要素就无法结合在一起，形成真正的生产力；没有交换，生产出来的产品卖不出去；没有分配环节，商品也就只能停留在市场上，到不了消费者手里；而消费不足，生产也难以发展。总之，我们要搞好发展生产力这一系统工程，就必须注意生产力的横向结构和纵向展开这样两个方面，只注意任何一个方面都不符合系统工程的要求。

四、定量——优化原则

本章第一节指出：系统工程与常规工程有两个最根本的不同之处，即系统工程强调定量和优化，而常规工程则不大要求定量和优化。所谓定量包括定数量和定结构两个方面，而且这两个方面的工作不仅体现在系统工程的总体上，它也体现在系统工程的每一件工作和环节上，定量处理的目的是系统工程的优化，没有定量分析，就谈不到工程的优化，因为优化是在定量分析的基础上比较出来的，优化本身也只有通过量化才能表现出来。优化工作也贯穿于系统工程各个部分和环节之间，然而系统工程全局的优化更为重要，因为系统工程的功能主要是通过其整体发挥出来的，整体功能最优才是人类追求的目标，而局

部优化也很重要，但它并不能代替整体的优化，甚至会影响整体的优化，所以在处理系统工程的优化问题时，要解决好整体和部分、全局与局部的关系，要从系统工程的全局出发考虑局部的优化问题，而不要孤立地考虑局部的优化问题。

五、反馈——调节原则

系统工程是一个自始至终都受着控制的过程，因而反馈——调节原则乃是其最重要的原则，或者说是其生命线。所谓反馈就是指在系统工程进行的过程中，系统工程的部门或环节负责人要把实施情况及时反馈给系统工程的总控制部门，而总控制部门则要对这些信息进行综合分析、处理，并根据系统工程的总体目标要求，对工程结构和进度进行调整，以保持其动态最优。客观实际说明，由于具体情况的千变万化，系统工程在进行的过程中，其各个子工程是很难完全按既定计划实施的，而必然会出现超前或滞后两种情况，从而使系统工程的总体计划受到破坏和扰动，但系统工程的总目标又必须基本保持不变（例如我国奥运主体育馆工程必须在2008年前完工，否则会影响奥运会按期举行）。因此，系统工程的总控制部门（中心）就必须根据总目标要求和变化了的实际情况，重新调整计划，使总进度保持不变。实际情况表明，这种反馈——调节过程一般都会贯穿于系统工程的始终，这也是系统工程成功的根本保障。

总之，系统工程方法是现代人们处理复杂实践问题的最有效的方法之一。虽然，我们并不要求每个人都成为系统工程专家，然而，对于系统工程方法的一些基本原则，我们每个人都是应该加以学习和掌握的，因为这些原则不仅适用于系统工程实践，而且适用于一般工作实践，掌握了这些原则会使我们在做工作时收到事半功倍的效果，我们何乐而不为呢？

第三章 信息方法

第一节 信息科学简史

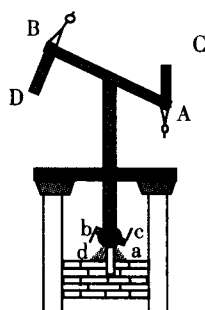
信息科学主要是在通信实践基础上发展起来的一门科学，因而欲了解信息科学的创立过程，就必须先回顾一下通信实践的历史发展。

一、古代通信方式

自从人类社会诞生的第一天起，通信就成为不可须臾离开的东西了。原始人要进行生产，要从事各种社会活动，就要交流或沟通信息，有声语言就是在这个过程中产生的，而借助语言来传递信息，大概也是人类社会最早的通信方式。当然，原始人的语言一定是十分简单的，绝不会有今天这么复杂。如果远距离联系怎么办？那就只能托人带话了。“你给我捎个话儿去”，“给你父母带个好儿去”，现在不是也常说吗！

后来，发明了文字，于是人们又学会用传递文字来通信了，即把文字写在物品或纸张上进行传递。古代传递文字信息的方式很多，最普遍的是用人力传递书信。据说秦始皇统一六国后，为了及时了解和掌握边远地区的信息，并将他的命令迅速传遍天下，便采取了驿站通信的措施：每隔 30 里设一个交接站——驿站，每一信使骑马奔驰 30 里后交给另一信使，如此下去，一天能传递近千里。除此之外，还有信鸽送信、鸵鸟送信、气球通信、风筝通信以及借助海风的“漂流瓶”通信等。所谓“漂流瓶”通信，就是指把写好的信或文件装在玻璃瓶子里，封好口，然后放在大海中，借助于海流，把信从一方传到另一方。这种通信方式最先是英国谍报机关发明的。有一次，一个渔民在海上打鱼时发现一只玻璃瓶子，就捞上来打开看，原来里面是英国女王的谍报人员向女王传递的西班牙人登上俄国新地岛的消息，后来赶快把信件交给女王，结果渔民被下令处死。英皇室并宣布，从今后，除了女皇指定的瓶子开塞官以外任何人不得私自将瓶子打开，否则处以极刑。

除了文字通信以外，古代人还发明了用光信号来通信。如中国古代“烽火台”的设置就是一例。这种“烽火台”有两种用法：白天有情况点燃牛粪生烟以通知内地，夜间有情况则点燃干柴生火以报军情。这种通信方式传递距离较远，亦较迅速，但其传递信息的数量受到限制。后来到了1792年，法国工程师查佩（C·Chappe）发明了一种光的接力信标机（图三1），这种信标机设在地势较高的地方，以顶部横臂位置的变化作为信号把消息从一个塔传到另一个塔。法国政府当时就用这种方法传递急报，从巴黎到土伦之间约840公里，沿途山顶上矗立120个传递塔，每小时联系一次，一个信号从发送到终端接收，最快只需20分钟。拿破仑利用它打了很多胜仗。但这种通信方法需要较多的人力、物力，并易受到雨雾天气的影响，所以发展受到限制。



图三1 横臂式信标

古代通信是适应当时生产、生活需要，在当时的科技条件下产生的，但随着人类社会交往活动的增加，古代通信方式日益暴露出一些缺点：（1）通信距离短，国际间、地区间通信受地区条件制约；（2）通信速度慢，如中国古代的驿站通信，每天也就是走1000里左右；（3）通信数量少，如烽火台通信表达的意义十分有限；（4）通信保密性差，信息在传递过程中经常发生失密现象。为了克服这些缺点，科学家们就在近代科技条件下，不断发明了一些新的通信方式。

二、近代通信科学的产生

近代通信技术首先是从有线电通信发展起来的。1753年英国人摩立孙曾设计架设26条导线，每条代表一个英文字母，当导线接上电流的时候，在导线另一端相应纸片就被吸引，记下一个字母，如此类推，拼成词语来传递信息。这是有关电通信（电报）的最早工程设计了。可是由于方法原始，而且当时用的是静电感应电流，传不了多远，电荷就损失了，所以未能付诸实施。

后来,美国的皮尔逊,俄国的希林,德国的高斯、韦伯,英国的柯克、惠斯登等人又都先后发明了有线电报传送装置,但由于存在各种缺陷,均未获得普及。世界上第一台实用的电报机是在1837年由美国人莫尔斯(S·S·morse)发明的,随后他又发明了具有重大意义的用点划符号组成的“莫尔斯电码”,^[1]从而使得在一条导线上传递不同信息成为可能。1844年,他利用华盛顿和巴尔的摩之间的一条64公里的试验性电报线路拍发了第一封电报(内容是:“上帝创造了何等的奇迹!”),进行了首次电报通信。1866年,英国的威廉·汤姆生又领导建成了第一条穿越大西洋并连接欧美大陆的海底电缆。从此,远程通信便由光通信阶段进入到了有线电报通信阶段。

在有线电通信方面还有一项重大发明,就是1875年美国人贝尔(Bell, Alexander Graham, 1847—1922)制成了电话,直接用电线传送人的声音。1878年,贝尔在波士顿和纽约之间进行了首次长途电话试验,两地相距300公里。从此以后,电话通信迅速传遍世界。

有线电报和电话都需要电线,使用地点是固定的。勘探队、移动的军队和海上舰船都无法使用。那么,能不能不用导线来传送电报电话呢?随着电磁波的发现,这个问题又被提出来了。

1865年,英国科学家麦克斯韦(Maxwell, James Clerk, 1831—1879)在“法拉第的力线”这篇著名论文中发表了辐射电磁场的理论。1868年德国的赫兹(Hertz, Heinrich Rudolf, 1857—1894)又通过实验证实了电磁波的存在。1889年俄国的波波夫(Попов, Александр Семеанович, 1859—1906)预计到利用电磁波的可能性,并和他的同事制成了“雷电指示器”,可以记录下相当远处雷电放电产生的电磁波。1896年3月24日,波波夫和助手雷布金在俄国物理化学协会的年会上,正式表演拍发了世界第一份无线电报(电文是“海因里希·赫兹”),通信距离为250米。1899年,他又使通信距离增至45公里,并在一次拯救因触礁遇难的阿伯拉克辛军舰中起了联络作用。与此同时,意大利科学家马可尼(Marconi, Guglielmo, William, 1874—1937)利用麦克斯韦和赫兹的研究成果也发明了无线电报装置,并于1896年6月在英国获得第一个无线电专利。1901年12月,马可尼首次从英国的康沃尔到加拿大的纽芬兰岛之间成功地发射了无线电信号,在接收地点通过挂在风筝上一根架空导线接收到第一封横越大西洋的无线电报。从此,无线电通信进入到实用阶段。

进入20世纪以后,无线电通信主要是在信号放大、频率开发以及雷达、

[1] 见本章第三节。

电视等应用方面发展的。1906 年美国的德福雷斯特发明了三极电子管, 可以把微弱电信号放大很多倍, 从而大大提高了通信能力。1926 年英国的布赖特 (G · Breit) 等人通过实验探测到了电离层的存在, 1927 年英国阿普尔顿 (Appleton, Edward Victor, 1892—1965) 又发现电离层上层能反射无线电短波, 从此, 中、高频等无线电频率资源相继得到开发, 出现了中波、短波和超短波无线电通信。1935 年, 英国的沃森 · 瓦特 (Watson—Watt, Robert, 1892—1973) 研制成了第一部探测飞机用的实用雷达, 并在第二次世界大战中发挥了重要作用。1937 年, 英国广播公司第一次播送出高清晰度的电视图像, 使无线电从传播声音又发展到传播图像阶段。

三、现代通信理论——申农信息论的创立

随着通信技术的迅速发展, 从 20 世纪 20 年代起, 人们就逐步对通信实践中遇到的问题展开了深入的理论研究。

1914 年, 美国电话电报公司的卡森 (J · Carson) 对无线电调幅制度进行了研究, 指出调幅载波的任一边带所能传输的信息量和两边带同时传输的信息量完全相等。由于单边带传输可以节省能量和信道间隔, 所以成了后来一些年代无线电通信的一种重要手段。

1924 年, 美国科学家奈奎斯特 (H. Ngquist) 和德国的开夫曼尔 (H. Kupfmuller) 又最早研究了通信系统传输信息的能力, 分别独立地指出电信信号的传输速率与信道带宽成比例关系。若信道带宽为 W , 通信时间为 T , 则传输脉冲的速率为 $R = KTW$ (K 为常数)。

1928 年, 美国的哈特莱 (L · V · R · Havtley) 又推广了奈奎斯特的工作, 发表了“信息传输”这篇论文。在这篇论文中, 他首先把消息和信息做了区别, 认为消息是信息的表达者, 它是具体的, 而信息则是包含在消息中的抽象量。另一方面, 他还第一次提出信息量的概念和用消息出现概率的对数来度量其中包含的信息的方法。用公式表示则为 $H = N \log S$ (H 为信息量, S 为代码序列, N 为消息所需的代码数)。

当时, 人们对噪声的认识也有很大进展。1925—1930 年, 贝尔实验室的约翰逊 (J · B · Johnson) 解决了电噪声的起源问题, 1945—1948 年, 贝尔实验室的莱斯 (S · O · Rice) 又研究了随机噪声的统计特性, 并对正弦迭加噪声情况做了详细的数学分析。

在认识噪声的基础之上, 各种抗干扰理论也相继建立起来, 1936 年, 阿姆斯特朗发明了调频制度, 指出调制指数很大时, 信号的带宽虽然变大, 但具有较大的抗干扰能力。这一发明在第二次世界大战中得到了普遍应用。1946

年，苏联的卡捷尼柯夫发表了“潜在抗干扰理论”，提出了比较各种调频制度抗干扰性能的有效分析方法。

申农信息理论正是在上述科研成果的基础之上被创立出来的。

申农（C·E·Shannon，1916—2001）是美国贝尔电话研究所的数学家和工程师。早在30年代做硕士论文时，他就注意布尔代数在逻辑开关理论中的应用。后来，他又特别注重计算机和数字通讯的研制工作，并于1940年开始从事信息论的研究。

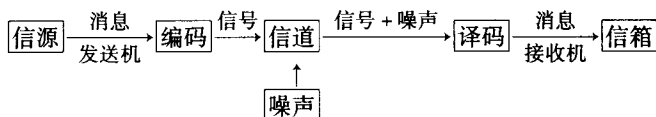
1948年，申农在《贝尔系统技术杂志》上发表一篇题为“通讯的数学理论”的论文，1949年，他又发表了另一篇论文“在噪声中的通信”，继续阐发了第一篇论文中的思想。他的这两篇论文奠定了狭义信息论的理论基础。

申农对信息论的主要贡献可以归纳为如下六点：

1. 从理论上阐明了通信的基本问题。

申农指出：通信的基本问题是在通信的一端精确地或近似地复现另一端所挑选的消息。这样就指出了信息论的研究目的是为了提提高通信系统的可靠性和有效性。

2. 他提出了一种高度概括的通信系统的物理模型，反映了各种通信系统的共性（图三2）。



图三2 通信系统模型图

3. 提出了信息量的度量公式：

$$H = -K \sum_{i=1}^n p(i) \log P(i)$$

$\sum_{i=1}^n p(i)$ → 代表某一随机事件出现的几种状态的概率之和

$P(i)$ → 随机事件出现的概率

K → 常数

H → 信息源的熵

4. 初步解决了如何从信息接收端（信宿）提取由信息源发来的消息的技术性问题。

5. 提出了如何充分利用信道的信息容量，如何在有限的信道中以最大的速率传递最大的信息量的基本途径。

6. 初步解决了如何编、译码才能使信源的信息被充分表达, 信道的容量被充分利用的问题。

上述问题都是过去没有解决过的问题, 他的这些工作是人类通信技术史上的新创举, 对当时的科技界也是一次很大的冲击, 因而信息论的发表很快轰动了世界。

此外, 另一个美国数学家维纳和统计学家弗希尔也对狭义信息论的创立做出了自己的贡献。其中, 维纳主要是研究了自动控制系统中信号被噪声干扰时的信号处理问题, 建立了《维纳滤波器理论》。同时, 他还解释了信息的概念, 提出了测量信息量的数学公式和信息的实质等问题, 使信息论成为控制论的一个基础理论。弗希尔则主要是从古典统计理论的角度研究了信息论, 提出了单位信息量问题。

1950年9月, 在伦敦举行了专门的信息论会议, 提交的论文有20多篇。1951年美国无线电工程学会承认了信息论这门新学科, 并成立了信息论学组。从此以后, 信息论就作为一门新兴学科受到国际学术界的普遍重视。

四、现代信息科学的发展

现代信息科学的发展主要表现在通信技术的高度进步和广义信息理论形成这两个方面。

(一) 现代通信技术进步的基本内容

1. 激光通信。光通信在古代、近代都有, 但古代和近代的光通信所用的都是自然光或普通光, 现代光通信的基础则是激光。激光通信的优点是信道容量大, 通信距离长, 保密性高, 抗干扰能力强, 光缆材料来源广(二氧化硅), 重量轻。

2. 网络化。初期的通信都是线式的, 现代通信则是网络式的。现代网络有有线网与无线网、固定网与移动网等形式。在同一个网络中, 任何两点之间都可以相互传递信息。网络通信的突出优势是信道容量大, 通信速度快, 所谓的信息高速公路计划就是建立在网络通信基础之上的通信方式。

3. 移动性。移动通信是指在运动状态下的实时通信。它以无线通信为手段, 解决固定点与移动体、或者移动体之间的通信问题。移动通信的最大优势是方便快捷, 因而发展极为迅速, 已成为现代通信方式的主流。

4. 数字化。已往的通信多是物理模拟通信, 通信质量差, 易受干扰, 目前正在为数字化通信方式所取代。所谓数字化通信就是把物理信号变为由0和1两个数字构成的数字系列。其突出优势是通信质量高, 抗干扰能力强。

5. 综合性。所谓综合性包括两方面含义：其一是指在同一通信系统中可以同时相互传输不同性质的信息，如文字信息、声音信息、画面信息等；其二是指多个通信系统联合起来组成一个传递综合信息的系统。例如移动通信与网络通信联合起来，组成 Wap 通信系统（手机上可看互联网上的内容），我国 2001 年年度实行的邮政混合信函业务系统亦属于此类综合性通信系统。综合通信的优势是传递速度快、效率高、保密性强。

6. 量子通信。这是目前正处在研究阶段的通信方式，其研究的主要问题有：量子通信中的纠错技术，量子通信信道的通信率问题，量子密码技术——量子密码本配送技术，以及远距离量子通信问题（如量子纠缠态纯化问题）等。量子通信的优势在于可以极大地提高运算速度、确保信息安全、增大信息容量和提高检测精度，是一种极有前途的通信方式。

（二）正在形成中的广义信息论

从上面的叙述中可以看出，信息论最初是作为一种通信理论而被建立起来的，它也主要用于通信领域。但是经过 30 多年的发展，到了 20 世纪 70 年代，信息论已不仅仅是一种通信理论，而是越过了通信领域，广泛渗入其他学科了。例如在物理学研究中，一些科学家就把信息与熵¹⁾联系起来，以说明系统的有序和无序的相互转化。在生物学领域，对遗传信息的研究更是吸引着一大批科学家的注意力，在这方面的研究将导致进一步揭示出生物遗传机制的奥秘。在社会管理研究方面，同样离不开信息方法。例如领导机关与基层之间的关系，就包含着互相沟通的信息联系关系。领导机关的任务就是通过信息传递系统了解信息、处理信息、然后做出正确决策，发出指令，有效地组织和指挥本系统的各种活动。此外，在系统论和控制论中也都离不开信息方法。随着信息论向其他学科的渗透及其日益广泛地应用，对于信息的概念和实质，信息的度量及运动规律等问题，就要求有更确切的理解和一般性的理论，这样就出现了广义信息论或叫信息科学。

究竟什么是广义信息论？它的研究内容是什么？研究的范围有多大？这在目前尚无定论。不过，从目前的信息论研究领域和发展趋势来看，我们可以把广义信息论的内容确定为这么几个方面：

1. 关于信息本质的理论。
2. 关于信息运动规律的理论。
3. 关于信息的度量方法的理论。

〔1〕 参阅第五章对“熵”的解释。

4. 关于信息的产生、获取、变换、传输、存储、处理、显示、识别和利用的理论。

5. 关于高级信息交换系统的理论, 如人工智能的理论和实现等等。

今天, 信息科学已经成为一门影响广泛的新兴科学。它的一些基本概念、原理和方法同系统论、控制论一样, 正在应用于各门科学研究之中, 并对三大实践起着巨大指导作用。如今人们经常谈论到“信息革命”、“信息时代”、“信息化”等用语, 这决不是没有根据的夸张, 而是人们对信息和信息理论在当今社会发展中的极端重要性的一种真实反映。

第二节 什么是信息和信息量

一、什么是信息 (INFORMATION)

“信息”这个词恐怕是中国发明的。唐朝时有一个叫李中的诗人写了一首叫“暮春怀故人”的诗, 其中有两句是“梦断美人沉信息, 目穿长路倚楼台”, 这大概是“信息”一词最早的出处了。

唐朝人虽然发明(确切地说是第一次使用)了“信息”一词, 但并没有、也不可能说明什么是“信息”, 因为当时尚无这方面的实践需要。20世纪以后, 信息科学发展起来了, 信息在社会生活中的地位日益重要, 它甚至与物质、能量一起成为人类社会三大资源之一, 这种情况才促使人们去研究什么是信息以及信息有哪些属性等问题, 并形成了众多的有关信息的定义及观点。^[1]那么, 究竟什么是信息呢?

本书作者根据对各种信息形式进行研究和概括后认为, 所谓信息即指事物在内部或外部因素作用下所产生的变化或结果。其中, 作用者称为致信物, 被作用者称为信息载体。

例如, 月球表面的陨石坑就是一种信息, 它是陨石作用于月面后产生的变化或结果。又如某位老革命战士腿上有一疤痕, 这也是信息, 该信息是由于该老革命战士在一次战斗中负伤留下的。如此等等。

[1] 目前, 国内外有关信息的定义不下几十种, 读者欲知具体情况, 可参考王雨田等主编:《控制论信息论系统科学与哲学》, 第十章第一节, 或钟义信著:《信息科学原理》, 第二章第一节。

二、信息的产生条件

(一) 信息是事物相互作用的产物。这种相互作用又可分为两种情况:

1. 事物之间的相互作用。其中又包括:(1) 物质实体之间的相互作用。如陨石坑的形成、心电图的形成都是如此。(2) 精神实体之间的相互作用。如毛泽东思想在一定程度上是马克思主义思想作用于中国传统文化思想的产物。(3) 精神实体对物质实体的作用。如一座房屋便是精神实体(计划、方案等)作用于建筑材料(物质实体)的结果,一座房屋也是信息。(4) 物质实体对精神实体的作用。如毛泽东思想、邓小平理论以及“三个代表”重要思想便是中国革命和建设规律作用于中国共产党人思想的产物。

2. 事物内部的相互作用。例如,某人走路一瘸一拐的,这是个信息,该信息可能是由于此人腰椎有病造成,亦可能由脑血栓所致。

(二) 事物之间或内部的相互作用必须达到一定“阈值”才能形成信息

例如,两个物体相互碰撞的力度很小,以至于根本形不成痕迹,于是信息也就不可能产生。又如,某甲说话的声音非常小,以至于某乙根本听不到,于是某乙也就不能产生某甲说话的信息。

(三) 信息必须借助载体才能存在

所谓信息载体即指附带有信息的物质实体或精神实体。例如,月球表面是陨石坑信息的载体,报纸是文字信息的载体,等等。由于信息是事物相互作用的产物,因而一切相互作用的事物都有可能成为信息载体。

三、信息的本质

信息的本质是什么?英国科学家艾什比(Ashby)认为:信息是事物的变异度。^[1] 本作者同意这种观点。事实说明,有变异才有信息,无变异则无信息。例如,陨石坑的出现就是一种变异,有陨石坑的地同无陨石坑的地方不一样,所以才形成信息。

作为信息本质的变异又存在如下四种情况:

1. 事物空间状况的变异。如自然物体受力以后发生的形状改变。
2. 事物时间状况的变异。如人的年龄变化,自然界四季的更替等。

[1] [英] 艾什比:《控制论导论》,科学出版社1965年版,第152页。

3. 事物属性的变异。如自然物体物理属性的变化、化学属性的变化、生物属性的变化等。

4. 如果一个事物内部和外部无任何变异，则其信息量为零，变化愈小、信息量愈小。

四、信息的功能

（一）信息的本质功能是可以标示致信物的存在方式和属性

既然信息是事物受致信物作用的产物和结果，那当然，信息就可以反映或标示致信物的特点。例如，报纸、电台每天都登出或播出大量广告信息，这些广告信息就标示着各种各样商品的实际情况（包括产地、保质期、商品性能、价格等）；动物化石作为一种信息则可标示很多万年以前该种生物的生活状况及环境特征；臭氧空洞的出现也是信息，它标示着人类生产的氟利昂过多的状况；甚至垃圾也是一种信息，它标示着生产垃圾者的生活消费状况。据报纸报道：某年美国有一雪佛龙公司用重金聘请一个叫雷兹的亚利桑大学的教授，令其研究某市的垃圾，结果得到了当地食品消费状况，雪佛龙公司据此进行决策，结果获得巨大成功。

在把握信息的标示性功能时，要注意其标示对象的内容：其一，标示致信物的存在状况。例如，人体伤口的状况就标示着致伤物的种类和形状，建筑物的质量作为一种信息则标示着施工者的素质状况等。其二，标示致信物作用过程状况。例如人体伤口的深度、角度和组织受损程度就标示着致伤物作用的方向、力度等过程状况。法医正是根据这一点对致伤过程进行判断的。

（二）信息可以引起生物行为或人类思想和行为的改变

例如，秋天天气变冷以后，某些树木就会落叶，而春天天气变暖之后，树木又会长出新芽，这就是天气信息引起的结果。另据美国华盛顿大学研究，柳树在遇到毛虫侵害（信息）后会放出一种物质，其他柳树在接收到这种物质（信息）以后，就能很快做出反映，增加体内的碳酸含量，使毛虫不敢前来侵袭。又如枪声（信息）响过以后，鸟就飞跑了，这也是信息使然。报刊杂志中的内容对于人类而言也是一种信息，人们阅读之后会引起思想状态的变化和行为的改变，在我国近现代史上，很多仁人志士都是在阅读了进步书刊以后而走上革命道路的。信息之所以会引起生物行为以及人类思想和行为的改变，这是由信息的“标示”功能决定的。生物或人类通过信息可以感知致信物的存在及其对自身的影响，于是便促使其改变行为。信息的这两种功能非常重要，

它是我们以后讲解信息方法的根本依据。

五、信息形式及分类

(一) 信息基本形式

信息形式多种多样,但就其在实践中应用的普遍性而言,可将其分为基本的三类:

1. 语法信息。即单纯表示符号或符号关系(符号的数目、符号持续的时间以及符号的结构等)的信息。如由莫尔斯电码所构成的信息,数字排列构成的信息,由各种图形、字母、文字和实物系统的组合所构成的信息等等。当人们只考察这些信息内部的符号或符号关系时,它们就做为一种语法信息而存在了。如邮电局的报务员所处理的都是语法信息,因为他们只注意电码符号间的关系,而不管各组电码所表达的意义。打字员所处理的也是语法信息,因为他在打字的时候只注意和原稿的字序排列一致,而不管文字的意义如何。电子计算机所处理的信息绝大多数都是语法信息。

2. 语义信息。即表示一定意义的信息。例如在激烈的足球比赛中,裁判员往往给犯规运动员亮黄牌,^[1]以示警告;在公路上表示急转弯、陡坡时也使用黄色标志牌。在交叉路口的交通信号中,红灯出现表示停止前进,绿灯出现表示放行,黄灯亮则表示准备前进或停止前进。这些标志牌或信号灯所提供的信息就是语义信息。此外,旧时店铺前的各种招幌,公路铁路两旁的行车标志,表示剧毒物品的图形——骷髅,以及信件、文章、论著等等也都属于语义信息或具有语义信息的特征。由于信息的意义往往具有多样性(如一词多意),因而把握和处理语义信息要比把握和处理语法信息困难得多。现在只有少数高级智能机能处理某些语义信息,如识别人的语言或按人的简单话语去动作等。

3. 语用信息。即具有一定价值或效用的信息。例如,天气预报可以起到保证安全生产和生活的作用,商品广告可以起到指导人们购物的作用,科学理论可以起到指导实践的作用,等等。总之,当我们只是强调某一信息的价值或效用时,该信息就是语用信息或具有语用信息的意义了。

一个信息的价值和效用往往是随着收信主体的不同以及时间的差异而改变的。例如,商品信息对欲购物者就有用,而对非欲购物者则无意义,有时还会

[1] 国际标准化组织 ISO 规定了四种安全色:红色表示禁止、停止或防火;蓝色表示指令和必须遵守的规定;黄色表示警告、注意;绿色表示安全状态、通行。我国也作了同样规定。

起到干扰收信者接收其他信息的作用。此外，新闻信息、军事信息、经济信息等等的时间性也都是很强的，有时一条消息迟发了一小时就会丧失其重大意义。正因为如此，对语用信息的确定和把握就更加困难，现代智能机尚远未达到处理语用信息的水平。

语法信息、语义信息、语用信息虽然内容不同，然而它们又是紧密相联的。语用信息以语义信息为基础，语义信息则以语法信息来表示。所以，具体信息往往是这三者的综合。只是由于实践要求的不同，人们有时只侧重于把握某一形式的信息罢了。

（二）信息分类

信息分类是一个极为复杂的问题，因为它可以有不同的标准。本书作者根据自己的认识水平，认为可根据如下不同标准来分类：

1. 根据信源的性质来分类。这样可将信息分为：人类信息（语言、文字等），生物信息（叫声、气味等），机械信息（声、光、电、磁、热等信号）。

2. 根据信息自身的性质来分类。这样可将信息分为：自然信息（各种物理、化学、生物信号等），社会信息（各种社会经济、政治、法律事件的发生等），思想信息（各种思潮的流行、理论体系的建立等）。

3. 根据信息的时间特征来分类。这样可将信息分为：历时信息（如以往发生的事件信息），实时信息（现正发生的事件信息），预测信息（关于未来事件的信息）。

4. 根据信息的真实度来分类。这样可将信息分为：真实信息（准确反映致信物存在状态的信息，如新闻报道），虚假信息（不能反映致信物存在状态的信息，如谣言等），不定信息（不能确切反映致信物存在状态的信息，如小道消息等）。

5. 根据信息的价值来分类。这样可将信息分为：有用信息（有利于人类主体存在和发展的信息，如招生广告、考试大纲、天气预报等），无用信息（与人的存在和发展无关的信息，如化妆品广告之于某些男子，股市情况之于不买股票者），干扰信息（阻止人们准确接收信息的信息，如电台干扰信号等）。

6. 根据信息载体的特征来分类。这样可将信息分为：实物信息（如法学中的证人、证物），图形信息（如心电图等），符号信息（如文字、音符、数码、电码等）。

7. 根据信息结构来分类。这样可将信息分为：连续信息（如彗星轨迹），离散信息（发出的电波），半连续信息（如时断时续的水流等）。

8. 根据信息的状态来分类。这样可将信息分为：静态信息（相对不变的信息，如写在黑板上的数字等），动态信息（指处于运动、变化中的信息，如电视中的信息，心电图机中显示的信息等）。

9. 根据信息的环境特征来分类。这样可将信息分为：内部信息（如国内信息、部门内信息等），外部信息（如国外信息、来自银河系外的信息等）。

综上所述，有多少标准，就有多少信息分类法。不同的分类法可能具有重叠性、交叉性，但这并不影响该种信息分类法的独立价值。人们可以根据实践和研究的需要，采取不同的信息分类方式，以达到自己的目的。

六、关于信息的哲学属性问题

信息是物质的，还是精神的？抑或是物质与精神的统一？这是近年来学术界讨论的重要问题之一。本书作者认为，如果把所有的信息都归结为物质的东西，那显然是片面的，因为人的感觉、思维等信息明明是主观的东西（尽管它包含着客观的内容），怎么说它是物质性的东西呢？否则，那不就同哲学上的庸俗唯物主义关于意识的观点划不清界限了吗？但把信息理解为纯粹精神的东西是否就准确了呢？也未见得。所谓精神，就是指客观事物在人脑中的反映，这个规定是很严格的，而在动物大脑中的反映呢？某些植物对外界事物的反映呢？这都不属于精神范畴，而只能称之为物质性的东西了。因为物质就是存在于人脑之外的一切事物。至于实物信息也不能说成是精神的东西。因此，如果准确地回答信息的属性问题，则应该说：有一类信息（如人的感觉、思维等等）是精神的，而此外的信息都是物质的。

七、信息的计量

信息量即标志信息大小的数量。信息量概念的提出如同温度、热量概念的提出一样。具有重大意义，甚至可以说，没有信息量的概念，就不会有信息科学，因为定量化的研究是科学体系必须具有的基本特点之一。然而，目前对信息的定量化研究和表述又还仅限于语法信息方面，因为语法信息涉及到符号的数目、符号持续的时间，信息源的统计性质以及编码结构方式等等，而这些方面都是可以较容易地用数量关系来表示的。但对于语义信息和语用信息则目前尚无有效的度量方法。这主要是由于，信息的意义和价值具有多样性并与多种因素有关，因而就使得人们对信息意义和价值的度量遇到极大困难。目前虽然有人在这方面做了大量工作，试图找到计算语义信息或语用信息的一般公式，但成果甚微。

下面，我们概略介绍一下语法信息的度量方法。

语法信息的信息量大小与概率有关，用公式表示则为：

$$I = -\log_2 P(i)$$

I 代表信息量，

$P(i)$ 代表某一随机事件发生的概率，

$\log$ 是数学中的对数符号，

负号表示与事件熵（不定性的量度）相反的意思。^[1]

由此可见，某一随机事件的信息量是由该随机事件（简称事件）发生概率的大小所决定的。

什么是概率呢？

概率是标志事件发生可能性大小的一个概念。具体来说，一个事件出现的次数（频率）同试验观察次数比值的极限，就是该事件发生的概率。

例如，国外有一个叫维尼的人曾经做过 3 万次投掷硬币试验，结果发现，正面出现的次数为 14994 次，频率为 0.4998，这个数字接近或趋向于 0.5，我们就说，硬币正面出现的概率为 0.5 或 $\frac{1}{2}$ 。

又如，盒中装有五个球（三个白球，二个黑球），从中任取一个，问取到白球的概率是多少？答曰：既然是“任取”，则五个球被取到的机会一样，而白球有三个，因此，取到白球的概率应该是 $3/5$ 。

很显然，对于必然事件来讲，其概率为 1，不可能事件的概率为 0，一般随机事件的概率在 0—1 之间。

从公式中不难看出，信息量与概率之间的关系为：概率愈大，信息量愈小；当概率为 1 时，信息量为 0，因为 $\log_2 1 = 0$ ；而概率愈小，则信息量愈大，如果概率为 0，则事件不可能发生，亦无信息可信（在数学中，0 没有对数）。

因此，搞清事件发生的概率是计算信息量的基本条件。实际上，如果我们事先知道某个事件发生的概率是 P_1 ，而在获得一定信息后发生的概率为 P_2 ，且 $P_2 \geq P_1$ ，则获得的信息量可按下列公式计算：

$$I = -\log_2 P_1/P_2 \text{ (单位：比特)}$$

当对数以 e 为底时，单位为奈特，

当对数以 10 为底时，单位为迪特或哈特。

例如，掷一个均匀的硬币，掷以前知道正面向上概率为 0.5，掷以后正面向上，其概率为 1，则获得的信息量为：

$$I = -\log_2 0.5/1$$

[1] 参见第 3 节信息的性质（一）。

$$= - (-1)$$

$$= 1 \text{ 比特}$$

这也就是说，我们从掷一次硬币中所得到的正面向上的结果中获得的信息量为 1 比特。

又如，我们到一宿舍区找某甲，该宿舍区共 10 排平房，每排 6 个房号。有人告诉我们某甲住在第 5 排。这时我们得到的信息量是：

$$I = -\log_2 P_1/P_2$$

$$= -\log_2 1/60/1/6$$

$$= -\log_2 1/10$$

$$= 3.32 \text{ 比特}$$

第三节 信息属性及规律

一、信息的属性

信息有很多属性，信息方法是根据信息的属性而制定出来的，所以讲信息方法之前，应首先把信息属性搞清楚。

(一) 信息具有普遍性

本章第二节曾指出：信息是事物在内部因素或外部因素作用下发生的变异及结果。由于客观事物都是内部和外部因素相互作用的产物，因而任何事物都具有信息属性，或者说都是信息。例如：一座山脉是个信息，因为它是由于地壳内部的相互作用所引起的地球表面的变异；一棵树也是一个信息，因为它是环境因素作用所引起的变异及结果；一把铁锹也是一种信息，它是人类对铁板和木料加工作用使然；一种感觉当然也是信息，因为它是客观事物作用于动物或人类大脑所引起的反映，一种理论体系当然更是信息啦，它乃是系统性事物的发展规律在人们头脑中的系统性反映。如此等等。

(二) 信息具有标示性

所谓信息的标示性即指信息具有表现致信物的存在方式或属性的性质。例如，一篇论文作为信息就标示着作者的思想水平和文字水平，一片庄稼作为信息就标示着该片的肥力状况和种植人的管理水平等。信息的标示性是由于信息的形成机制决定的（详见 2. §，四）。

（三）信息可以消除信宿的不确定性

什么是不确定性呢？

从哲学上看，不确定性包括两方面的含义：其一是指客体本身所固有的多种可能状态。例如，一粒种子种在地里，它能不能发芽？这是不确定的，它可能发芽，也可能不发芽，可能早发芽，也可能晚发芽。篮球场上正在进行比赛，某一方是赢是输？如果赢的话，那么是赢得多还是赢得少？这也是不确定的。因为它可能赢，也可能输；可能赢得多，也可能赢得少。其二是指主体对客体的无知状态。例如母畜在丢失幼畜之后，由于不知幼畜在哪儿而非常焦急，处在不确定状态。人类主体也是如此；当人们对一事物不了解，对其缺乏必要的知识，往往就表现出对这些事物是“不清楚的”、“不确定的”。例如，对某些自然现象发生的原因或时间、地点不清楚，对某些社会现象的发展趋势或影响不了解，这都是对客观事物缺乏认识的表现，是一种认识上的不确定性。上述两种不确定性实际上也是一致的。当客体本身存在着不确定性的时候，主体对它的感知也必然是不确定的。例如一个人在篮球框里投球，是投得进，还是投不进？这本来就是不确定的，因而人们对其感知（认识）也必然具有不确定性。当然，对于人类来说，也有时客观事物的发展状态或趋势已经确定了，结果出来了，但人们由于种种原因尚未认识到，还处在原来的不确定性之中，这是由于认识的滞后性所致。

信息论中所说的不确定性，主要指这后一种意义上的不确定性，即指主体的不确定性，或指主体对客体的无知状态。

信息既然具有标示致信物的存在方式和属性的性质，因而当信宿（主体）得到一定信息之后，其关于致信物的不确定性也就可以消除了。例如，当母畜听到丢失的幼畜的叫声或发现其所在地点之后，母畜便得了信息，立即走到幼畜身边，心里也安静下来了。又如当考生不知道自己考试成绩时，心中忐忑不安，处在不确定状态，而一旦得到成绩通知（信息），不确定性也就消除了。正因为信息可以消除信宿的不确定性，所以有人干脆这样给信息下定义：信息是不确定性的减少或消除，或者说信息即可以用来消除不确定性的东西。

既然信息可以消除不确定性，因而我们要想改变自己的无知状态，要想获得对有关事物的正确认识，那就得设法多获得信息。一个孤陋寡闻、掌握信息很少的人是不能正确认识事物的，当然更谈不上正确改造事物了。

（四）重复不增值性

对于一个确定的主体来讲，一旦他得到某种信息，这个信息的质与量也就

确定了。以后，无论这一信息再重复多少遍，它的质和量都不会变化或增加。这就是信息的重复不增值的含义。

信息为什么会具有这一性质呢？

这是因为，只有能够消除主体不确定性的客体系统才能成为信息。如果你得到一种信息，那就意味着你消除了某种不确定性，所以这个信息再重复多少遍也是没用的，它再也不可能增加信息量了。例如，今天早晨气象台预报说“今天天气阴”，我得到了一个信息（假定天气只有阴晴两种情况，且二者发生的概率都是0.5，则我得到的信息量是1比特）。过一会儿，我又听了一遍预报，还是“今天天气阴”，这会不会使我增加信息量呢？不会的，因为它并没有使我消除新的不确定性，增加新知识。所以对于我来说，第二遍广播白费。

既然信息具有重复不增值性，因而：第一，我们在向特定对象发送信息时，要注意避免重复（在对方已经接收到信息的情况下），否则就会引起对方的麻痹或“厌收”反映。第二，作为信息的接收或获得者要注意多深入实际、搞调查研究，以便掌握更多的新材料，了解更多的新情况，增加信息量。老抓住旧材料不放，是不会使自己知识有所长进的。

（五）可存储性

我们知道，物质和能量都是可以存储的，如仓库储粮、电池储电都是存储物质与能量的具体形式。实践表明：信息亦可存储，即可采用一定的方法使信息的形式或内容保持不变（相对）。信息存储有内存储与外存储之分，如人们用脑子记东西，计算机内的“随机存储器”（RAM）存储信息都是内存储。内存储的优点是保密性强，但存储量受到存储器能力的限制，如据报道，人的大脑最多能存储 $10^{14} \sim 10^{15}$ 比特的信息。当然，个别人的内存储能力是相当强的。俄罗斯有一个叫卡斯帕洛夫的国际象棋冠军记忆力十分惊人，他脑中经常记住1000多人的地址和400多朋友的电话号码，尽管他不懂外语，但他可以一字不差地“复述”任何外国人连续三分钟的谈话。既然信宿的内存储能力受到限制，就需要有外存储来帮忙。外存储形式很多，如记笔记、录音、录像、计算机用的软盘等。^{〔1〕}外存储的优点是存储量大，可以说是无限的，但其缺点是保密性较差。

〔1〕某些动物也具有外存储能力，如家狗在随主人外出时，会不断在道路两旁撒尿以留标志，而当其返回时又会通过不断嗅闻留下的尿迹找到正确回家之路。在这里，留下尿迹就是外存储。

（六）可提取性

信息是可以提取的，如从人体组织中提取 DNA 遗传信息，从土壤样品中测定某种金属的含量信息，从案发现场提取人的指纹等，都是信息提取的具体形式。信息提取对于认识活动非常重要，如据报纸报道：2000 年 4 月 19 日，法国波旁王朝的继位人路易亲王宣布，1795 年在狱中病逝的男孩确实是路易十七，而不是替身，从而使折磨法国 200 多年的历史公案得以了结。这其中靠的正是基因提取和分析技术。原来 1789 年法国大革命胜利后，波旁王朝的皇帝路易十六被送上断头台，其儿子路易十七也被关入狱中，二年后病故。后来传出谣言说，病死狱中的男孩是替身，而真路易十七已越狱逃到国外去了。谣言一出，很多人纷纷冒充路易十七，其中一个钟表匠冒充的最像，以至于连波旁王朝的后裔都相信了，因而该钟表匠死后，其墓前还立了路易十七之墓的牌子。那么，这个钟表匠到底是不是路易十七呢？20 世纪末时，有关方面做了两次基因实验：先是 1993 年将钟表匠的肱骨取样跟路易十七母亲玛丽·安托内特王后及其两个姐妹的头发取样品进行了基因对比，结论是：此人跟王后毫无血缘联系。1999 年 12 月，又从死于狱中的男童的心脏上取样，同王后和两个姐妹以及哈布斯堡王室还在世的两位后裔的基因进行对比，最终得出了上述定论。

（七）信息可以处理（复制、强化、转换、加工、分类等）

所谓信息处理就是指把信息从一种形式变换成另一种形式，并在这个变换过程中保持一定的信息量。

例如，打电话的过程就是把声音信息变成电磁信息再变成声音信息的过程。广播、电视的工作原理也是把声音或视觉信息变成电磁信息，最后再转换成声音或视觉信息的过程。报刊、杂志所起的作用也是这样：作者把思想信息转换成文字信息，读者通过阅读再把文字信息变成思想信息。另据报纸报道：北京市公安局有人经过调查，发现某些盗窃分子中间经常使用这样一些黑话：“合闸”、“查户口”、“疙瘩钱”——撬锁、入室、盗窃，“动手术”——割包行窃，“里怀运动”——扒窃里面衣服的财物，“铆了”——流氓打架、用刀子扎死或扎伤人。这种把行为信息变为黑话或暗语的过程也是信息处理过程。

信息转换有可逆与不可逆之分：

可逆的信息转换是指把信息由甲种形式变为乙种形式后，还可以再把乙种形式变为甲种形式，而且在这种变换过程中，信息量不变。例如，老式电报传递过程就是这样的：汉字电文→四位数码→五位电码→四位数码→汉字电文，

首尾汉字电文内容一样。上面举的广播、电视、报刊、杂志对信息的加工也属于可逆的信息加工（由于受干扰而出现差错的情况例外）。

不可逆的信息转换是把信息由甲种形式转换成乙种形式之后，乙种信息形式再不能变成甲种信息形式了，因为在这个变换过程中，信息量发生了增加或减少的变化。例如，自然语言的翻译过程就是这样的：把一本中文书译成英文后，再根据英文译成中文就很难恢复原样，因为在翻译过程中加进了译者的理解。再如，我国文艺界有一个影响深远的口号——“文学是人学”。人们向来认为这是前苏联作家高尔基提出来的，但1988年12月8日《社会科学报》上登了一篇文章讲到，其实高尔基并没有说过这句话，而是由于我们在翻译高尔基文章时，误译出来的。前苏联学术界也证实，高尔基从未阐述过“文学是人学”的思想，也没说过这样的话。他们认为这一提法实际上是中国人的一个创造。又如小道消息的流传也是这样的：开始本来是一件小事，但经过你传我，我传他，事情就邪乎了。因为在流传过程中，人们往往添枝加叶，结果搞得原来消息面目全非。例如，有一年中央电视台开着本身有“中央电视台”字样的车去山西某个偏僻小县拍外景，结果当地人看见后便争相转告，最后误传为“中央来了人”，以至四乡来了不少人拦车告状，最终惊动了县长。所以，我们不可相信小道消息，那里面的真实信息是很少的，也可能根本没有真实信息。

（八）可传递性

人们都知道，物质和能量是可以传递的。例如将矿石从矿山运到工厂，将电能由发电站送往城市和乡村。信息亦可传递。如动物之间的相互呼叫，人与人之间的语言交往等都是在传递信息。

信息传递过程也就是人们所说的通信过程，它有很多形式。如以人类通信而言，就有自然力通信（信鸽通信）和人力通信（邮递员送信）、声通信和光（自然光）通信、有线通信与无线通信等相关类型。现代通信的类型更多，如有线通信可分为架空明线通信、电缆通信、光缆通信；无线通信则有短波电离层反射通信、微波接力通信、散射通信和卫星通信、个人移动通信等形式；无论有线通信还是无线通信，又都有线性通信（两点之间的通信）和网络通信之分，此外还有单媒体通信（如电话）和多媒体通信（如可视电话）等形式。

对通信的基本要求是：快速、准确、安全、可靠、量大、方便。快速是为了保证信息的实时性，提高信息的价值。如2003年3月，我国新华社对美伊战争爆发的消息报道竟比老牌“枪手”——法新社、路透社早了10秒，从而使世界人民及早知道了美伊战争的爆发，为新华社赢得了巨大声誉，如果通信

速度慢,就做不到这一点。准确是为了保证信息的有效性,如果一条信息在传递过程中发生失真,就不能达到通信的目的。安全就是要求通信系统和过程能不被不法分子和敌人干扰和破坏,整个系统应具有较强的抗干扰能力、多种加密手段和抗毁措施。例如1943年4月,美方截获一份日军电报,经破译,内容是山本大将和他的参谋部高级军官将于4月18日乘飞机前往布干维尔岛,美国总统得知后,下令派一个飞机大队(P—38第339大队)去截击并获成功,山本五十六机毁人亡,这对日本是一个重大打击。所以,战后日本军方对通信的安全性煞费苦心,并取得了成果。可靠性就是要求通信系统无论在什么时间都应处于连续工作状态,为此一方面要求通信设备要可靠,有冗余措施,另外还要求有备份通信手段。量大就是要求信道容量要大,为此信道的频带要宽,而且信道带宽分配要灵活,只有这样才能满足人民群众对通信技术(如多媒体通信)的要求。

目前在通信技术方面存在五大发展趋势:^[1]

1. 通信业务数据化;
2. 网络技术宽带化;
3. 网络接入无线化;
4. 通信体制一体化;
5. 发展低轨道卫星和平流层通信技术。

(九) 非守恒性

我们知道,自然界中的物质和能量是遵循着守恒定律的,当一种形式的物质和能量转化为另一种形式的物质和能量时,其总的质和量不变。但信息却不遵守这一守恒定律。这主要是指:第一,信息可以创造和消灭。例如,我可以在一张白纸上写出一段文字信息,也可以把白纸烧掉,从而使信息归于消灭;录音或录像带上的信号被去掉以后,也就不能再以另外形式存在了。第二,信息在转换或传递过程中,也会发生部分损失现象。例如,我们在把外文译成中文时,原有的信息会或多或少地发生丢失。

造成信息不守恒的原因主要有二:其一,信息存在受时空条件的限制使然。如一条消息在打仗之前很重要,但打完仗后,就无大意义了(语用信息),同样,一条消息在某个范围内是新闻,但在另一个范围内就不一定是新闻了。其二,信息结构的变化具有不可逆性使然。信息在传递过程中受到噪声干扰后,其结构会发生不可逆性的变化,这样一来,原信息也就不复存在了。

[1] 引自温熙森主编:《高科技知识读本》,国防科技大学出版社2000年8月1版,第80页。

如无线电波在受到同一频率电波干扰后,就会发生结构改变,而其所携带的信息也就损失了。现代电子战的战术之一就是通过施放电磁干扰使对方通信系统失去信息传递能力。其三,信息载体发生变化会使信息发生损失。信息需要借助载体才能存在,一旦载体发生变化,信息便可能丧失,例如,磁带消磁或受热变质后,磁带上的信息也就损失了;古代壁画由于泥皮脱落或色彩变质,原画的内容就不得而知了;有些身怀绝技的人一旦去世,该技艺也就失传了。如此等等。

把握信息非守恒性十分重要:一方面,既然信息是可以创造的,因而我们就应适应现代社会发展需要,努力生产出各种各样的信息,多搞点发明创造,多搞点调查研究,并注意现代信息的商品属性,发展信息市场。另一方面,既然信息又是可以消灭的,因而我们要努力创造条件,及时更新一些信息,同时又要注意充分利用信息,以防信息丢失或失效。据说我国目前有很多专利技术都趴在专利局的柜子里,得不到应用(转化率为32%—2001年),随着时间的推移,肯定会有一部分失去价值,或被更新的专利技术所取代。

(十) 共享性

物质和能量是不可共享的。例如一个馒头,甲吃了下去,乙就不能再吃;一度电被甲用了,乙就无法再用,所以为了保证重点城市或行业用电,某些城市或行业就要“拉闸限电”。然而,信息却可以为人们所共享,即同一信息可以为不同主体所利用。例如一个录像片,甲可以看,乙也可看;一盘录音带,你可以听,我也可以听;一项科技发明,A企业可以用,B企业也可以用(当然要遵循商品交换原则),等等。目前各种各样的通信网络的存在为信息共享开辟了广阔的天地,家里只要有一台入网计算机,世界各地的事情都可以很快知道(限网上有的内容),非常有利于科学研究和扩大人们的视野。信息共享性也为发展中国家利用世界先进技术发展自己提供了可能性,而把这一可能性变成现实性的有效手段便是建立各种信息网络系统。

二、感知信息发展的规律性

感知信息是一种特殊信息,也是信息的高级形式,它只存在于生物界和人类社会两大领域。研究感知信息的规律性有利于我们把握一般信息发展的规律性。

(一) 感知信息随生物、人类主体及其与客体相互作用的产生而产生

感知信息不是从来就有的,在地球诞生的很长一段时间内,并无感知信息

存在，有的只是各种物体之间的相互作用及其引起的变化（物质信息），后来，在这种相互作用（主要是物理、化学作用）的基础上诞生了生命。生命的特点之一，就是能够感知环境的作用，并能根据这种感知而调整自己的行为，以适应环境求得生存，感知信息就是随着生物感知能力的产生而产生的。

感知信息的产生需要两个基本条件：

1. 客体致信物作用于感知主体（生物或人类等），这是感知信息产生的基础条件。如果客体不作用于感知主体或作用于感知主体的力度不够（未达到一定阈值），就不会引起主体感知器官的变化，因而，主体也就不会产生感知信息。例如，没有物体的机械作用，动物就不会产生触觉信息，没有光波、声波等物理性作用，动物也就不会产生视觉和听觉信息，没有气味的化学刺激作用，动物也就不会产生嗅觉和味觉信息，等等。当然，感知主体受客体作用并不都是被动的，有时也是主动的，是主体主动接触客体，例如，人类就是通过实践去主动接触客体的，所以，人类能产生比动物更多、也更深刻的感知信息。

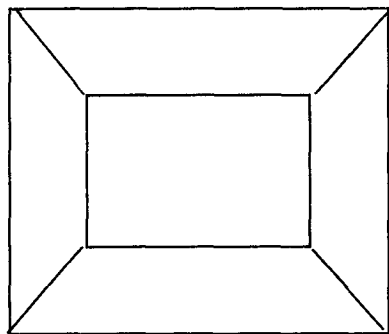
2. 主体感知器官的变化是感知信息产生的必要条件。如果只有客体的作用，而无主体感知器官的变化，则感知信息是不会产生的。中国古代有两句成语叫“熟视无睹”和“充耳未闻”，讲的是有些现象虽然常被人们看见、听见，但未能引起人体感知器官的变化，所以人们还是不能产生任何感知信息。当然，那些没有或失去感知器官的盲人、聋人就根本不会产生视觉和听觉信息了。

（二）感知信息随主体感知能力发展而发展

首先，感知信息随主体的感知能力的发展而发展。生物产生以后，随着自己感知器官的发展，其感知能力也不断发展：开始是原始生物的刺激感应能力，随后又发展为低等动物的感觉能力，继而又发展为高等动物的心理反映能力，最后又在劳动的作用下发展到人类所特有的抽象思维能力。以此为基础，感知信息的质与量也愈来愈丰富和发展：在质的方面，先后形成了刺激感应信息、感觉信息、心理信息、思维信息；在量的方面也日益增加，一般而言，原始生物的感知信息量 < 低等动物的感觉信息量 < 高等动物的心理信息量 < 人类的思维信息量。

就个体感知信息的发展而言亦如此：在相同客体的作用下，由于主体感知能力不同，有时形成信息，有时则不形成信息；有时形成的信息多，有时形成的信息少；有时形成这种信息，有时则形成另种信息。如在红颜色作用下，有人能产生红色感觉信息，而有红色色盲症者则产生不了红色感觉信息；在同一

声音作用下，有人能产生听觉信息，而有人则由于耳聋则产生不了听觉信息。又如，对于下面几何图形（图三3），不同的主体可能会产生不同的信息：主体甲可能认为这是一个倒扣过来的斗（一种量具），主体乙可能认为这是一个隧道，主体丙可能认为这是一个大框子中间吊着一个小框子，主体丁则可能认为这是一个从飞机上往下看的金字塔形状……。再如两个人一起到某企业搞调查研究，各自发现的情况和得到的结论也可能不同。上述这些都是由于主体感知能力的差异性而导致的。



图三 3

（三）感知信息随主客体相互作用的发展而发展

主客体相互作用，这是感知信息产生的基本条件之一。主客体相互作用的途径越多，次数愈多，主体产生的感知信息也越多。例如，一个人所接触的事物越多，经历越复杂，他对世界的感受（信息）也就越丰富，所以有的老年人在教训年轻人时常讲：“我过的桥比你走的路也多”，以示自己见多识广，这并不是没有道理的，医生看病也是这样：以往中医一般是通过“望、闻、问、切”四种途径去掌握疾病信息的，获得的信息相对较少。现在获取疾病信息的途径就多了，如量血压、化验血、尿、便，做心电图，用X光透视，B超检查，同位素扫描，电子计算机断层扫描（CT）等等。所以，现代医生在诊断疾病过程中获得的信息量要比以往多得多，利用这些信息去诊断疾病也比过去准确得多。目前，整个人类信息量的发展几乎达到“爆炸”的地步，这里最根本的原因，就是社会实践的方式愈来愈多、范围愈来愈广，程度愈来愈深刻，因而物质世界反映到人们头脑里来的东西也就愈来愈多且迅速。再加上人们可以把信息通过语言、文字、录音、录像等方式记录并存储下来，普遍加

以传递、处理和利用，以至于现今的时代被人们称为“信息化”时代了。

第四节 信息方法的基础：信息技术

什么是信息方法？它包括哪些内容？目前学术界的认识还很不一致。笔者认为，人类的一切活动归根结底就是认识世界和改造世界，因此，对这一概念应当这样表述：信息方法是通过信息手段来认识世界和改造世界的方法，信息方法的基础是信息技术，这些技术主要有：信息获取技术、信息存储技术、信息处理和信息传递技术等等，不掌握这些技术，所谓信息方法也就成为空中楼阁。因此，我们欲学习信息方法，应先掌握有关信息技术。由于本书不是信息技术方面的专著，故只能对信息技术的基本原理作些介绍。

一、信息获取技术

人们要认识事物，首先需获得有关事物的信息，这种信息获取得愈多、愈全面、愈及时，人们对事物的认识也就有可能愈正确、愈迅速。所以，信息获取是信息技术的首要内容。

信息获取的方法很多，但归结起来，无外乎以下两种：

（一）被动式获取信息

所谓被动式获取信息就是指人类作为信宿，通过单纯地感知外界作用的方式来获取信息。具体又可分为两个方面：

1. 直接通过感官去获取事物的信息。大多数生物都通过这种方法获取信息，人类也是如此。例如，人们在日常生活中，常会看到一些现象，听到一些声音，闻到一些气味，尝到一些滋味，触摸到一些物品，像这样得到的信息就是被动式获取的信息。有人以为，这种通过日常的耳闻目睹而获得的信息并不重要，其实不然。在科学史上很多重大发现都是起源于对日常生活的观察。如伽利略由于看到吊灯的摆动而发现了摆的等时性，牛顿由于看到苹果落地而发现了万有引力定律，奥斯特由于偶然看到通电导线上方的磁针会发生偏转而导致法拉第发现电磁感应定律并继而创造出发电机，达尔文由于环球旅行的发现而提出生物进化论，贝克勒尔（法）由于发觉硫酸钾铀能使胶片感光，从而导致了放射现象的研究，等等。在社会斗争方面也是这样：如第二次世界大战中，在苏德前线，一天苏军某部司令部突然来了数名上级军官组成的“检查组”，要求该部主管汇报作战准备情况。在接待中，该部一名军官发觉“检查

组”一名军官坐在椅子上用手指轻轻地扣敲桌面，从其手指动作规律和发出的声响，判断敲的是一支德国名曲，顿生疑心，立即向上级报告，经该部向上级核实发现该“检查组”为德国间谍伪装所为，马上将其全部捕获，从而避免了一次重大泄密事故。

2. 通过媒体（广播、电话、报刊、网络）间接获取事物信息。广播站、电视台、报刊社、网站等是现代社会中最重要的信息收集和传播基地，而听广播、看电视、阅读报刊、上网等则是现代社会中人们获取信息的主要手段。现在，如果有谁整天不读书、不看报，不听广播、不看电视、不上网，则其头脑里掌握的信息量必然是极少的，因而也很难做好工作，据报纸报道：1999年冬天某日，温州等地遭受台风灾害，蔬菜减收，当晚中央电视台报道后，被一位在北京新发地作蔬菜买卖的安徽省姓李的商户看到了，他立即用手机与温州当地联系，连夜组织了六、七辆10吨大卡车装上北京大白菜就往温州发运，结果一次就赚了数万元。甚至对于情报工作也是如此。美国总统杜鲁门曾说：“我们的秘密95%都被报纸和杂志发表了！”很遗憾，我国在改革开放过程中，由于疏于管理也存在上述情况。例如1981年9月20日，我国首次用一枚火箭发射了三颗卫星，发射情况未作报道，对此，英美等国家记者急切想了解详细情况。正当有关部门对此严格保密之时，不料9月22日（卫星发射后第三天），北京某家广播电台蓦然抛出一篇《太空奥秘夺桂冠》的广播稿，次日，北京某家晚报又刊登了《我国第九颗人造卫星》的文章，把这次发射情况全盘端出，公诸于世，造成一次严重泄密事件。再如，1982年4月，国家级重大科技发明——“两步发酵法生产维生素C”通过鉴定，这是我国在维生素生产史上取得的突破性成果，引起了国际医药界的普遍关注，数国药厂闻讯赶来，希望获得这项一本万利的成果。然而几天后，几国厂家来人甩手而归，并且得意声明：“要想搞到中国的专利，无需花什么大价钱，更不必签订什么合同，只要买一二本杂志就可得到。”原来国内某学报把这种新产品从小型试验到试产，从试产到正式生产，什么菌种分离、种属鉴别、形态特征等技术细节都一一说明了。

运用各种科学仪器直接接收信息亦属于被动式获取信息方法。我们人类感官获取信息的能力是很有限的，如太大太小的东西就难以看见，太高太低的声音也听不出，太热太冷的物体也感受不了……，在这种情况下，要获取大量的信息，就得靠科学技术来帮忙了。例如，显微镜可以使我们看见微观世界里的东西，望远镜可以使我们观察到遥远天体上的情况，温度计可以帮助我们测出上千度的高温和零下200多度的低温，气体分析仪可以测出空气中含量极小的气体分子……，不久前，笔者还看到一个材料称，美国科学家经长期研究发

现,一些植物具有记录环境信息的能力,例如在一盆仙人掌前组织几个人搏斗,结果仙人掌内部会发生一些电磁变化,再用导线把仙人掌同显示器联结起来,显示器就会呈现出一种特殊的电波曲线图,判读这种曲线图就可以了解凶杀打斗的全过程。由此,科学家预言,无需多少年,植物就可以为一些凶杀案件作证,由植物语言学家充当翻译,译出植物记录下的凶杀过程,为判断案件的性质提供重要线索,到那时,犯罪分子无论在何隐蔽处作案,都难逃法律的制裁。

(二) 主动式获取信息

被动式获取信息的优点是信宿隐蔽性强,不易被发现。^{〔1〕}但它也有一个局限:缺乏选择性。人们得到的信息往往是人们所不需要的,而人们所需要的信息又往往得不到。为了解决这一问题,人们又发明了主动式获取信息的方法。

所谓主动式获取信息就是指系统首先发出一定信息,然后通过收集反馈信息的方式获取有关对象的信息。例如,蝙蝠在飞行时发出超声波,超声波遇到障碍物会产生回波,蝙蝠便通过接收回波来定向。又如,1942年春天,美军情报人员从破译的日军密码电报中得知,“AF”将是日军下一个攻击目标。然而“AF”是哪里?情报人员经过研究认为可能是指中途岛。为了证实这一估测,美军太平洋舰队通信情报负责人罗彻福特指示中途岛守军以明码发一份假电报:“中途岛淡水蒸馏器发生故障,不能使用。”然后严密监视日军拍发的每一份电报,两天后截获的一份日军电报电文是:“AF淡水缺乏”。这样,“AF”即中途岛即被证实了。5月20日,山本五十六发布作战命令,但他不知美军早已做好战斗准备。6月4日,日军舰队驶入中途岛海域后,立即遭到美国空军攻击,四艘军舰当即被击沉,日军遭到惨败。此例中包含着主动式获取信息的方法。再如人类通过社会调查获取情况的方法亦属于主动式获取信息的方法。社会调查可分为两种类型:

1. 口头调查。即调查者直接找当事人问明情况,或者是开个座谈会了解情况。毛泽东的《湖南农民运动考察报告》就是这样写出的,报纸上的新闻采访也是记者通过口问手记的方式整理出来的。

〔1〕 目前有一种新型雷达叫“无源雷达”,即雷达站本身并不发射雷达波,而只是被动地接收飞机飞过时所引起的电台或电视台发出的电磁波的变化信号来探测飞机,这对美国的隐形飞机F-117威胁极大,“无源雷达”比“有源雷达”的高级之处在于:它可以避免因发射雷达波而被敌方飞机发射导弹攻击。美伊战争中,伊拉克的雷达站多次被炸正是由于有源雷达的这一缺点所致。

2. 问卷调查。所谓问卷调查即研究人员将调查的内容和问题编排成统一的表格形式发放出去,然后再将被调查对象的回答加以回收,得出统计结果。但由于种种原因,问卷调查的回收率往往不高,据美国统计,通过邮寄进行问卷调查,其平均回收率通常为 10%~20%,一项调查只要有超过 30% 的回收率,其结论即被认为可以成立。

主动式获取信息亦可通过仪器来实现。

例如,雷达就是以辐射电磁波和检测从物体反射来的回波(是否存在和回波的特性)来获得被探测物体的有关信息的,目前,雷达已在空中预警、精确测距等方面获得广泛应用。控制论中的黑箱方法实际上也是一种主动式获取信息的方法。因为“黑箱”是不能自动向外发出信息的,只有从外面给其输入一定信息,然后观察其反馈回来的信息,才能知道其内部结构状况。

利用电子计算机获取信息也是一种主动式获取信息的形式。在现代世界上,电子计算机已形成网络化,谁有什么问题,需要什么信息,只要将其输入计算机,马上就可以得到答案。正因为如此,通过计算机网络获取信息已成为国内外人们获取信息的重要手段。据 2003 年 10 月 30 日《科技日报》报道:宁波网际创华公司开发了一种新的信息获取技术——Cn. myi. cn 系统(个人信息门户),用户只要进入该网站,命名自己的信息频道、定义自己所需信息内容,该系统就会在网上监控搜索有关信息,并通过个人信息门户、电邮或短信,随时向用户传递,用户得到的完全是自己定义的、及时的信息。

主动式获取信息的优点是选择性强,但易暴露信宿,获取信息的保密性和安全性比较差。

二、信息存储技术

信息是可以存储的。所谓信息存储就是把信息以某种方式固定并保存下来,以便需要时再将之提取出来。

(一) 信息存储的类型

根据信息形态可将信息存储划分为两种类型:

1. 原形存储。即保持信息原有形式基础上的存储。如把书籍、图画、录音带、录像带放进图书馆、档案馆或博物馆内保存起来。原形存储比较简便易行,但易受环境因素影响而导致信息丢失。如有些古书放的时间长了,纸张会变黄、变糟、甚至会遭虫咬;又如北京市房山区云居寺的石经板曾放在自然环境中十几年,结果出现风化、剥脱现象,后来市文物局决定重新将其埋入地下保存,效果会好一点。

2. 变形存储。即把信息变换形式后再进行存储。这种变形必须与原形具有相似性和可复原性。例如把人的声音和相貌录制在磁盘或光盘上保存下来,即属变形存储。

根据信息存储的空间特性亦可将其分为另外两种类型:

1. 内存储。把信息存储在系统内部,称为内存储。如人们用大脑记事情、计算机内的随机存储器存储信息等都属于内存储。

2. 外存储。把信息存储在系统外部称为外存储。如相对于人脑而言,录音、录像、记笔记等则属于外存储,而相对于计算机而言,软盘也属于外存储。

(二) 信息存储条件

信息存储需具备一定条件:

1. 必须有存储信息的材料或载体。例如,记笔记得有纸张,录音录像得有磁带或光盘,用脑子记东西也得有脑细胞或由脑细胞组成的神经网络。^[1]实践表明,存储信息的材料愈高级,存储信息的数量就愈多,质量也愈好。据报道,现在已研制出一种存储材料,在一个火柴盒大小的空间内能把整个大英博物馆的藏书全部存储起来。

2. 必须有信息转化手段。例如,录音、录像实际上就是一种信息转化手段,即把原声、原像转化成电磁信号,在磁盘或光盘上记录下来。用大脑记事物也是把各种事物变成生物信号再存储在大脑中。

3. 必须有一定的环境。无论什么形式的信息存储,都离不开特定的环境,否则,信息存储就会失效。如磁盘、光盘必须放在一定温度下才能长久保质,如果环境过热,磁盘、光盘就会变质,从而导致信息损失。人用脑子记东西也需要一定环境,环境干扰太大,影响记忆效果。

(三) 信息存储是做好工作的基本条件

信息存储能力的大小是衡量信息系统功能高低的重要标志。如果信息存储能力低,则系统获取信息能力再强也是没有用的。鲁迅说过:无论做什么事,如果继续收集材料,积之十年,总可成一学者。还有一个历史学教授给大学生讲:如果你们能收集两万张卡片,就可以在史学界成为权威,就按一天记三张卡片来算吧,20年就可达两万张,如果一天记一张,25年就可接近一万张,虽离权威还差很远,但也算学问不小了。当然,这里讲的是过去的情况,在今

[1] 还有一种观点认为,记忆的基础是生物大分子。

天,人们可以借助电脑存储信息。有一个调查材料显示:2001年每一个人拥有的数据量为250MB(兆比),2002年则达到500MB,而到2004年,每个人拥有的数据量将可达到2GB($1\text{G}=10^9$),要处理这些数据就需要有更多的内存,但现有的32位计算机只能支持2GB内存的寻址能力,而64位计算机则能支持4GB以上容量的内存寻址能力。由此可见,用64位计算机代替32位计算机乃是历史发展之必然。

信息存储有内存储和外存储两种基本形式。现在一些年轻人,特别是一些大学生比较注意外存储,而不注意内存储,甚至借口反对死记硬背知识而拒绝用力记一些最基本的东西,这是十分片面的。记忆是思维的基础,记忆力很差的人是很难干出什么大事来的。俗话说:熟读唐诗三百首,不会吟诗也会吟嘛!这是经验之谈。另外据科学家们研究,人的大脑皮层有1500多亿个细胞,其记忆潜力远未发掘出来,一般人只用到5%。因此,我们也不能浪费自己的脑细胞,要充分发挥其功能,包括记忆功能,以为人类做出自己较大贡献。

三、信息处理技术

人们要正确地认识事物,首先需获得有关事物的足够信息,然而光有这一步还不行,还要对这些信息进行分析和处理。因为这些初步获得的信息往往是零散的、粗糙的,有些信息甚至是虚假的。这样就必须对它们进行一下筛选和系统化工作,然后才有可能在此基础上获得对事物的正确认识。

信息处理的内容很多,但基本上可分为形式处理和内容处理两个方面:

(一) 信息形式处理

信息形式处理包括众多内容,就日常实践而言,主要包括下述方面:

1. 信息编码和译码。
2. 信息计算。人们在得到原始数据信息后,为了获得对事物总体或规律性的认识,往往需要合计、算出百分数或列出函数式,这就需要进行数学计算。
3. 信息显示。包括数字显示、图形显示,现代化信息显示主要通过计算机屏幕进行。

此外,信息形式化处理还包括编号、登记、制作、保存、合并、归类、压缩、加密等内容。

(二) 信息内容处理

信息内容处理包括信息分析和综合两个环节:

1. 信息分析。

(1) 真实性分析。对于使用信息的人而言,信息并不都是真实的,在大量的原始信息中,往往夹杂着虚假信息。特别是在现代战争中,敌对双方往往制造一些虚假信息以迷惑对方,使对方上当受骗。因而对信息真实性进行分析便显得十分重要。例如在2001年11月阿富汗战争时,美方得到两条消息:一条是拉丹在阿富汗国内,另一条消息是拉丹不在国内。美方欲寻找并抓捕拉丹,必须将其中一条虚假消息排除。又如艺术品鉴定的重要任务也是确定何为真品,何为赝品。

(2) 价值分析。对于使用信息的人而言,信息也不都是有价值的,有些信息并非为人类所需要,属于无用信息,因而需要将其加以滤除。据报美台军情部门在监听我海军潜艇活动信息过程中,获得的信息很多,其中既有海流声音,又有水生动物叫声,还有地壳变动声音等,这些均属于无用信息,必须用高速电脑加以分析排除后,才能获得潜艇发出的信息。

价值分析还包括鉴别精细与粗糙两个方面。在人们获得的大量信息中,信息品质并不一样:有的信息少而精,易于说明问题;有的信息多而糙,用处不大。在此种情况下,就需要对信息进行“去粗取精”的工作。

(3) 类别分析。在人们获得的信息中,信息性质并不一样,这就需要对信息进行分类处理。例如图书管理员对于每天购进的图书就需要根据其学科性质进行分类摆放。1998年4月,中国人民银行根据各种贷款性质将其分为5类:正常贷款、关注贷款、次级贷款、可疑贷款、损失贷款,简称贷款风险分类法,其中后四类属于不良贷款。

(4) 结构分析。结构分析的形式很多,主要有:数量结构分析,即分析各类信息在信息总体中所占的比重;时序结构分析,即搞清什么信息是先得到的,什么信息是后得到的,什么信息是同时得到的,以便区别对待;空间结构分析,即搞清各种信息在空间中的不同位置,例如在考古发掘现场,往往会发现很多器物碎片(信息),如果搞清这些碎片之间的空间结构关系,就可以将其组合在一起,形成一个完整的器物,供人们研究或鉴赏;逻辑结构分析,即搞清各个信息之间的逻辑关系,例如法官在审理案件时,就要对各种证据进行逻辑结构分析,确定何时、何地、何人、何事、何故、何物、何果等要素,这就是刑事审判中的“七何要素”分析法。

2. 信息综合。

所谓信息综合就是把各种信息要素联系起来,使之形成一个信息系统的过程。经验表明,人们在实践中得到的信息一般都是零散的、片断的东西,只有把这些信息要素联系起来,使之形成一个整体或系统,才能据此去认识事物。

信息综合的关键是信息建构。

(1) 空间建构,即把各个信息要素综合为一个空间整体。例如,1988年底,美国一架泛美航空公司的103次班机(波音747)在苏格兰的洛克比镇上空爆炸失事,机上250人和地面11人丧生。为了查明爆炸原因,美英苏(格兰)组成联合调查组,该调查组收集了大量信息,其中包括5万个金属碎片和飞机残骸。在此基础上,航空专家们又将所有碎片和飞机残骸重新拼接,组装起来,形成一架相对完整的飞机,再加上把其他方面的信息综合在一起,终于得出该飞机是被蓄意炸毁的结论,并很快确认了炸弹放置的地方以及几名利比亚籍的犯罪嫌疑人。

(2) 时间建构,即按信息产生的时间次序将其连接起来,形成信息链。如刑事侦察人员在调查案件的过程中,会得到大量信息,把这些信息按内在的时间次序排列起来,就会得到一个较完整的发案过程的信息链,如一个司机喝了酒→开车撞了人→逃跑→洗刷车辆。这就是一个揭示犯罪过程的信息链。

(3) 数量关系建构,即把获得的信息按数量关系排列起来,组成一个数量关系系列或模型。例如,我们对一个教师教学的群众满意度进行调查,调查内容有四项:好,较好,一般,差。现在有100张答卷,对最后结果要进行一下数量统计:如果结果是好——10人,较好——30人,一般——40人,差——20人,对此我们就可以认为这是一个不大受学生欢迎的教师;而如果结果是:好——30人,较好——40人,一般——30人,差——0人,对此我们则可以认为其是一个受学生欢迎的教师。

(4) 逻辑建构,即建立起各种理论、观点之间的内部关系。例如,马克思主义由三个部分构成:哲学、政治经济学、科学社会主义。这三部分的逻辑关系是:哲学是方法、政治经济学是理论基础、科学社会主义是目的。这样一来,马克思主义的内在结构就清楚了。事实说明,任何一个比较完整的思想体系都是有一定内在结构的,只有了解这个结构,才能真正把握其实质,现代西方结构主义学派主张通过结构分析和综合来认识马克思主义思想体系,他们的观点有一定道理。

(三) 处理信息应注意应用计算机

实际表明,现代人们所面对的信息量经常是十分巨大的,采用传统的手工处理手段往往难以应付,但若用电子计算机来从事这一工作,则可以收到很好效果:由于电子计算机运算速度极快——有的已达到近百万亿次/每秒,加之极少受到干扰,因而既可以使信息处理时间过程大为缩短,又可以使信息处理结果更加可靠。例如,现代天气预报就是人们利用大型电子计算机处理巨量气

象信息后而做出的，此外在人口调查数据处理、社会发展预测以及宇宙飞行等方面也都要应用电子计算机来处理信息。

总之，信息处理是利用信息认识事物的重要环节，不懂得它，就是不懂得信息方法，就很难在信息社会中立足。法国学者蒂埃里·戈丹认为：今后的胜利者将是那些最有能力处理信息的人们。这种看法是很值得人们深思的。

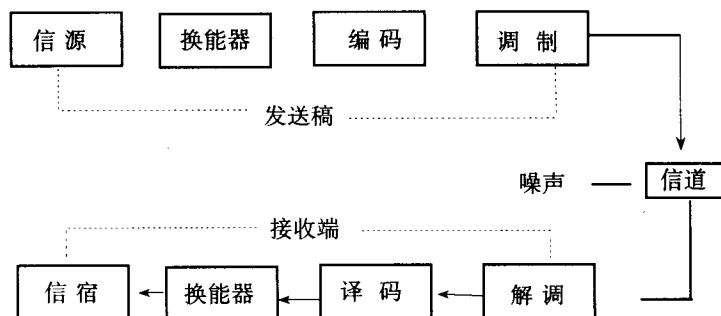
四、信息传递技术

在对信息进行正确处理之后，还要传递信息，因为有时处理好的信息并不是供自己用，而是供他人使用，这样，就必须把信息及时、准确地传递出去。

例如，1981年10月6日，埃及总统萨达特遇刺身亡，举世震惊。其实，在事件发生之前三小时，负责安全工作的一名少将警官就已得到情报了，但当他把这一情报报告其顶头上司时，这个上司不在值勤汽车内，因而未接到无线电话；他急忙又将情报报告给另一个上司，但被告知该上司正在休息，已下令不得干扰；无奈，他只好又派一名尉官作信使企图冲进阅兵场，直接报告主席台上的总指挥卡塔，但被阻于门外，结果就在几分钟内，“圣战者”组织的杀手用机枪把在检阅台上的萨达特打死，制造了一起令世界震惊的谋杀事件。由此可见，及时准确地传递信息是何等重要！

然而，如何才能正确地传递信息呢？

根据申农信息论和现代通信实践，信息传递过程主要由发送机构、信道、接收机构三部分构成，用图形表示则为（图三4）。



图三4 信息传递的一般模型

下面，我们分三大部分把信息传递模型解释一下。

1. 发送端。

发送端由四部分构成：信源、换能器、编码、调制。

(1) 信源。信源即信息的来源。例如，你到邮局去打电报，你就是信源；母畜呼唤幼畜，母畜也是信源；人造卫星、宇宙探测器不断从太空把各种信号发往地球，这些人造卫星、宇宙探测器也是信源。

(2) 换能器。在现代信息传递系统中传递信息，首先需要换能。例如，在电话通信中需要声——电转换；把空气的振动转换为电信号的变化。在文字和图像信息传递中需要光——电转换；把光的明暗转换为电信号的大小，等等。

(3) 编码。信息是不能直接传递的，要传递，首先必须编码。码即指表达信息的符号系列或系统。例如，在莫尔斯电码表示中（图三5）表示“1”这个数字的电码是“·—”（读作滴哒），表示“2”这个数字的电码是“··—”（读作滴滴哒）。在中华人民共和国邮电部编的《标准电码本》（修订本）中，表示“北”这个汉字的电码是0554，表示“京”这个汉字的电码是0079。此外如文章页码、电话号码、房间号码、四角号码字典中的四角号码等等也都是些“码”，它们都是表达特定信息的符号系列或系统。

数字1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
符号·—	··—	...—	—	—	—....	—...—	—...—	—...—	—...—

图三5 莫尔斯电码

所谓编码，就是指按照一定规则，把各种特定符号排列起来，形成表达信息的符号系统（在狭义信息论中称消息）的过程。我们说话、写文章、作曲、指挥交通、操纵电子计算机（如五笔字型、汉语拼音等）都有一个编码过程。申农认为，编码时要遵守两条基本规则：一是保证使用的字母最少，以便在信道容量一定的情况下，提高信息传递速率；二是要求从编码字母序列中能不失真地（或限定失真大小）恢复出原始的符号系列，以提高信息传输的可靠性。例如，国际上有一种通用的遇险呼救信号 SOS^[1] 这是1906年国际无线电管理大会上制定的。这个编码就符合上述编码定理的要求。为什么？因为一查英文字母电码表即可得知，这两个字母的莫尔斯电码是这样的：S→····，O→———（图三6），这样，拍发起遇险求救电报来，既简单、方便，又易为人听懂或看懂。

[1] 国际海事机构（IMO）1988年11月11日决定，船舶海难紧急信号的发报，1993年以后将引进被称为国际海难安全系统（GMDSS）用电钮操作的新机器。规定1999年以后，全世界的所有船舶有义务使用GMDSS。从19世纪末以来作为海难信号的莫尔斯符号“SOS”将随之被取消。

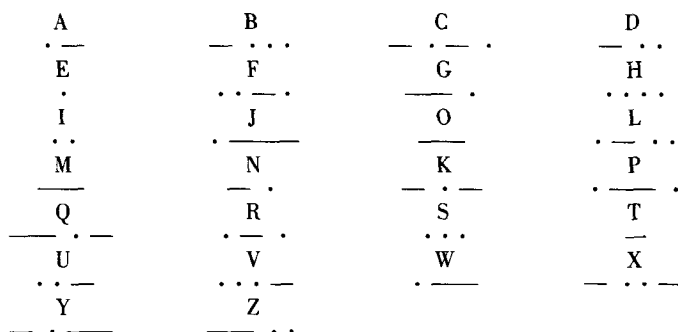


图3 6 英文莫尔斯电码

(4) 调制。所谓调制，即把一种信号频谱迁移到另一种信号频谱上去。例如，为了在电缆信道上传递信息，需要在群频上进行一系列频谱迁移；为了在无线电信道上传递信息，则需要把信号的频谱迁移到射频频段上去；而为了在光导纤维信道上传递信息，又要把信号频谱变换到光波频段上，等等。

2. 信道。

信道即传递信息的通道，它分为有线信道与无线信道两种。电缆、光缆属于有线信道，宇宙空间属于无线信道。信道是传递信息的关键。信息在信道传递过程中，一般都会混入噪声（包括系统内噪声和系统外噪声），克服噪声干扰是信道传递技术的重要内容。信息传递的载体叫媒体，报刊、无线电广播、电视、互联网、CDMA（手机）被称为现代通信的五大媒体。

3. 接收端。

信息通过信道发出以后，必须有一方接收。如果发信者尽管发出信息，然而却无收信者接收或接收不到，则信息传递的任务还是没有完成。例如在大街上有一熟人在很远的地方叫你，可你没听见，他就白喊了。接收端由解调、译码、换能、信宿四部分构成。

(1) 解调。解调是调制的反变换，即把经过调制的信号频谱再迁移回去，变成原信号频谱，如把光频再变成电频、声频等。

(2) 译码。译码是编码的反变换，即把构成信息的符号组合，再变成信息的过程。例如在无线电报传递过程中，收报员收到电文以后，需要将其译成汉字，这就是译码过程。识谱、翻译外文的过程也是一种译码过程。

(3) 换能器。这里换能器是指对发送端换能器的反变换。例如电——声转换，电——光转换等。

(4) 信宿。信宿即信息的接收者，信宿可以是人，也可以是动物或机器。

总之，由信源提供的信息经过处理变形后，在信道中传递，接收机构在收到变形信息（消息）后经处理恢复原信息形式，再送至信宿手中，这样，一

个完整的信息传递过程就完成了。

五、信息交换技术

所谓信息交换技术即指把不同主体掌握的信息通过一定机构或途径加以交流、置换的技术。信息交换技术早就产生了。例如古代的驿站、近现代的邮电局都是信息交换机构，不过信息交换技术很简单罢了。现代信息交换技术要发达得多，例如电话交换台、无线电台、网站等都是执行信息交换的机构。可以这么说，离开信息交换技术，现代信息传递根本无法进行。

众所周知，现代的时代是信息时代，而信息时代的中心则是信息交换机构，信息时代的核心技术也是信息交换技术。谁想在信息时代有所作为，谁就应掌握先进的信息交换技术。

现代信息交换技术的特点和发展趋势是：

1. 交换的信息量巨大，号称海量信息。
2. 综合性强。语音信息、文字信息、图片信息、动画信息均可交换。
3. 网络化。各个信息交换中心相互联结，形成一个网络。

据2003年11月1日《科技日报》报道：有一种称为263二代邮件（@263）的信息交换中心系统已研制出来，它能把各种不同的信息传递方式整合在一起，使用户想传递什么信息就传递什么信息。例如可以利用其打电话，也可以发邮件，还可以发图片、动画等格式，此外还可以传递海量信息数据，实现跨终端使用等。

六、信息安全技术

随着社会生活的日益信息化，信息安全问题显得越来越重要。现在威胁信息安全的因素越来越多，如非法入侵、病毒攻击、物理损伤等。通过这些途径，信息系统中的信息往往被窃取、删改、增添、替换，甚至使信息系统本身遭到破坏。

目前，保护信息安全的技术很多，如防火墙技术，信息加密技术等。据2004年3月18日《科技日报》报道，俄国有一个叫巴巴扬的通信科学家研制出了一种新的安全机构：在编制计算机的程序中加入一个抵抗病毒的“抗体”，这样，计算机在遭到病毒侵害时，就能自动把病毒抵消，而不必再单独加防火墙。他搞的这个系统叫“谢科尤利基”很受计算机生产厂家欢迎。不过，目前在信息安全方面，最先进的技术还是处在研究中的量子通信技术，这种技术使人根本无法窃取信息，因为，在信息被窃取的同时，通信双方就会立即知晓，从而可以采取防范措施。

第五节 信息方法之一：利用信息认识事物的方法

一、利用信息认识事物的基本步骤

利用信息认识事物是信息方法的基本内容之一。它主要应遵守以下步骤：

(一) 确定认识对象

利用信息认识事物，首先是确定认识对象。例如是认识一个天体？还是认识一个生物？是认识一种自然现象？还是认识一种社会现象？只有首先把认识对象确定下来，才能进而决定采用什么信息手段去认识之。

(二) 获取有关认识对象的信息并进行存储

人们在获取信息时，一般应注意以下几点：

1. 要注意全面性和数量充足。如果获取的信息是一鳞半爪，数量不足，或数量充足但欠全面性，这都是很危险的。如果利用这样片面的信息去进行决策、处理问题，必然铸成大错，造成失败。例如，有些领导同志在调查群众对某项决策的反映时，只爱听肯定意见，不爱听或不听否定意见，这样在修改决策时，就不可能做到真正科学性和民主性。另外，近些年来，我国一些城市街头出现了一些“电脑诊病”的摊位，一位电脑专家对此发表意见说：中医认为，诊病要通过望、闻、问、切四种途径获取信息，而“电脑诊病”只是输入受检者的脉象数据，然后再输入事先预制好的内容，另由于人的脉象往往受环境影响而千变万化，而电脑所获信息极少，这就使它不可能对受检者的生理状况作出真正准确的诊断。

2. 要注意获取信息的真实性。所谓真实性就是指某一信息与其所反映的事物具有质和量的一致性。如果某一信息与其所反映的事物具有质和量的差别，那就是虚假信息或叫失真，而虚假信息是不能用来指导人们认识事物和进行科学决策的。例如，国内某大学一研究人员在检测北京老山汉墓一具尸骨的DNA时，很容易得出了结果，他有些怀疑，因为通常检测古尸的DNA是非常困难的。为防止出错，他又检测了一下自己皮肤组织的DNA，结果发现相同，这把他吓了一跳：原来他在做实验时，不小心把自己的表皮屑掉到被检测对象上了。

3. 要注意获取信息的及时性。事物都是发展变化的，反映事物的信息形

式也是发展变化的。因此，人们欲获得真实而准确的信息，就必须注意时间性问题，要尽可能地及时获取反映事物现状最新变化的信息——实时信息。例如，1998年5月8日凌晨5点45分，以美国为首的北约悍然发射5枚导弹袭击我驻南联盟大使馆，新华社记者邵云环、光明日报记者许杏虎夫妇壮烈牺牲。当时幸免于难的人民日报记者吕岩松立即跑到使馆外用手机将消息传到人民日报前驻南记者胡锡进家中，这时，离大使馆遭袭仅仅15分钟，胡锡进听到这一消息后，有如晴天霹雳，立即向该报国际部负责人报告，并受委托向我有关部门汇报。报社领导获悉后，立即向中央报告了这一重大事件，从而为我国政府决策赢得了宝贵时间。

4. 获取信息切忌主观性。凭借主观意愿去获取信息，必然造成所获取信息的片面性，并进而导致对事物的错误认识和处理。如“文化大革命”中，有些人专门喜欢搜集别人的“黑材料”，并据此给人定性，这就不可能不造成冤假错案。又如1939年苏联同德国签订了《苏德互不侵犯条约》之后，斯大林过于相信这一条约，以至于在得到德军要进攻苏联的多次情报之后，仍不相信，结果战争初期吃了大亏。

5. 要利用多种技术手段获取信息。如2003年1月~3月，我国科技部高新技术司组织力量对秦始皇陵进行了综合探测（863计划之一），探测手段包括重力法、磁法、电法、弹性波法、放射性法、地温法、核磁共振法和测汞法等八大类方法，获得了大量信息，经综合处理后得出结论：秦始皇地宫不在别处，就在骊山封土堆下。其结构为：东西长170米，南北宽145米，墓室位于地宫中央，高15米，东西长80米，南北宽50米。又如，为了搞清非典出院病人有无传染性问题，全国防治非典型肺炎指挥部科技攻关组曾进行过信息收集工作，其收集信息方法是双管齐下的：一是派专人登门调查（主动式），看病人出院后有无传染给家人的情况；二是公布热线电话，号召出院病人主动把情况告诉指挥部科技攻关组（被动式），这样一来，就极大地加快了信息收集工作，同时使得信息来源也更广泛了。

（三）处理信息

其内容包括信息识别、分析和综合等内容。

信息识别是信息获取的关键，只有经过识别，确认是主体所需的信息，获取信息的任务才算完成。例如，现在美国等发达国家都设有宇宙信息接收器。但接收到信息以后，要进行大量的识别工作，以找出科学家所需要的信息，如哪些是地外文明发来的信息？哪些是超新星爆发的信息等。又如美国情报部门的监听器每天都接收到大量信号，但哪些手机信号是恐怖分子拉登发出的，这

就要进行分析和识别，如果识别错误，就会遭到失败。

至于信息分析和综合方法，上一节已有说明，故不赘述。

(四) 找出信息与致信物的对应关系及规律

本章第二节曾讲到，信息是一事物受它事物或自身内部因素作用后引起的变化。因而有什么样的致信物，就会产生什么样的信息，致信物的变化必然导致信息的改变。因而，找出信息与致信物的对应关系及规律乃是利用信息认识事物的关键环节。具体操作时可列表显示：(图三7)。

Z_0	X_0
Z_1	X_1
Z_2	X_2
$\vdots$	$\vdots$

Z 代表致信物

X 代表信息

图三7 信息与致信物对应关系表

(五) 根据信息与致信物的对应关系确认致信物

为加强读者对信息方法的认识，下面举例说明。

先以自然现象的认识为例：科学研究表明，叠层石（一种化石）中所含蓝藻的情况是与当时的日月运行情况有对应关系的，据此，我国科学家们借助高科技手段发现，在13亿年前，地球每年有540多天，每年有13个月~14个月，每月为42天，每天约15小时。科学研究还表明，植物生长状况（信息）与地下矿物的分布有着对应关系，如地上忍冬藤生长茂盛的地方，地下一般都有金矿，地上野韭菜生长茂盛的地方，地下一般有银矿，地上香薷生长茂盛的地方，地下多有铜矿，如此等等。因而人们便可根据地上植物分布特征（信息）而找到各种矿物。科学研究还表明，地磁的变化和某些动物的异常表现往往同地壳变动有对应关系，因而人们可以根据这种变化（信息）来预测地震。科学研究还表明，人的头发结构同身体状况有着对应关系，因而科学家通过研究人的头发，便可知人体健康状况，据国外报纸报道，只要将一小段头发放进一个装有硝酸的试管中，然后用频谱仪对它进行解读，便可知道头发主人的生活习惯：他喜欢吃什么？是否抽烟？是否喝酒？是否有慢性疾病？而用质子显微镜进行解读，还可知道主人服用过什么药物，是否患有冠状动脉疾病，内分泌情况又是怎样。

再以社会现象的认识为例：马克思主义哲学认为，社会意识的变化是与社

会存在的变化相对应的，因而人们通过了解社会意识的变化状况便可以推测社会存在的状况。经验表明，新闻报道与现实情况是有对应关系的，因而人们通过新闻报道（信息），便可以掌握现实情况，如 20 世纪 60 年代，日本情报部门正是通过对我报刊杂志中有关大庆石油基地的片断报道的分析中准确判断出大庆所在方位及其炼油能力的。此外，在刑事侦察学方面，根据对发案现场所获遗迹、遗物（信息）的分析来确认犯罪嫌疑人及其作案过程；在医学方面，根据人的脉象、心电图、化验结果（信息）等诊断疾病；在人才学方面，根据人的笔迹特征（信息）确定性格；在行为心理学方面，根据对人的行为特征（信息）分析来判断其心理状况，等等，都是利用信息认识事物方法的实例。

从上述实例不难看出，通过信息认识事物的方法具有两个特征：其一是间接性。即认识主体无须直接接触认识客体，而只通过信息这一媒介即可获得对客体的认识。其二是预测性。由于认识主体不是通过直接改造客体的实践，而是通过分析信息媒介的特性而间接认识客体的，这就不可能不使认识带有预测的性质，就像天气预报的预测性一样。既然这种认识带有预测性，那就有可能发生谬误，而不会百分之百地准确。因此，对于应用信息分析方法而获得的认识，我们一要大胆地相信，二又要小心谨慎，以防由于认识上的错误而导致行动上的失败。实际上，我们人类无论认识什么事物都是离不开信息中介的，所谓客观事物作用于人们的感官引起感觉的过程也就是信息的形成和传递的过程。因而，在实践这一大前提下，信息是联结主客体的真正桥梁。信息方法是具有普适性的。

二、利用信息认识的事物对象

（一）利用信息认识致信物的存在方式或属性

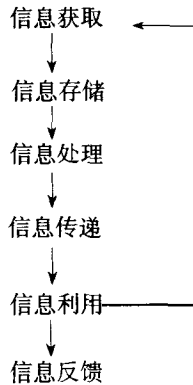
信息的重要功能是可以标示致信物的存在方式和属性。既然如此，人们就可以通过分析信息的特征而发现致信物的存在方式及其特征。实践证明，信息方法是具有普遍性的。

（二）利用信息运动过程的观点来认识动物和人类行为过程

实践表明，动物和人类的行为过程都是受着信息过程支配的，因而搞清信息运动过程有利于发现动物和人类行为过程的本质。

信息论认为，信息运动过程遵循下列程序：

既然如此，我们就可以运用这一观点去揭示动物和人类的行为过程。



例如，动物捕食的过程就是这样的：发现猎物——获取信息；记住猎物的状态——存储信息；判断猎物的价值及捕到猎物的可能性——处理信息；根据上述判断做出追捕或不追捕猎物的决策——利用信息；向四肢发出决策信息指令——传递信息；及时了解追捕猎物的状况并不断调整决策——信息反馈。在这个过程中，获取、存储、处理、利用、传递（包括接收反馈信息）信息的机构是动物大脑。

又如，社会管理的过程也是这样：收集情况和资料——获取信息，积累资料——存储信息，将资料进行分析和综合——处理信息，根据信息处理过程做出决策——利用信息，发布决策指令——传递信息，了解管理结果——信息反馈，显然，离开了信息运动过程，管理工作就无法进行。

再如，机器人的工作原理也是如此：通过传感器获取信息——通过存储器存储信息——通过运算器处理信息——利用信息处理结果做出决策——把决策信息传递给控制器——控制结果信息再由传感器接收（反馈），这就是机器人的工作过程。

利用信息运动过程的观点不仅可以揭示动物和人类行为过程的特征，而且可以说明动物及人类不同发育水平的根据。

一般而言，植物界的信息运动水平要低于动物界，而动物界的信息运动水平又低于人类。以信息获取环节而言：植物没有获取信息的专门感官，因而获取的信息较少，动物则有获取信息的专门感觉器官，因而获取信息的种类和数量也就要比植物多许多，人类则不仅有感觉器官，而且有思维器官——大脑，因而人类不仅能获得感觉信息，且能获得思维信息。在其他环节上，植物、动物和人类的区别也是很大的。也正因为如此，植物、动物、人类三者之间在行

为方式上才显出重大区别。

再以计算机而言,也是这样。截至目前为止,电子计算机已经历了五代:第一代是电子管的,第二代是晶体管的,第三代是集成电路的,第四代是大规模集成电路的,第五代是超大规模集成电路的。事实表明,越是新一代的电子计算机,其所体现的信息运动水平越高级,其功能也就越高级。

总之,利用信息运动的观点和方法去观察动物和人类行为过程,有利于我们从新的角度科学地揭示其本质及其运动规律,亦有利于我们有效地改造之。

第六节 信息方法之二:利用信息改造事物的方法

信息方法的主要意义在于利用信息去改造(包括管理)事物,对此又可从下述两方面去理解:

一、利用信息从事管理的方法

管理是社会运行的重要环节,管理得好,社会就能顺利发展;管理不好,社会就会出现混乱,然而,如何才能搞好管理呢?科学研究表明,任何管理都离不开信息,信息准确、充足和及时,管理者就能据之进行正确决策,有效管理一个对象,反之,若不掌握任何信息,也不会利用任何信息,则管理者就会如同盲人瞎马一样,根本无法做好工作。

利用信息从事管理需要遵循下列步骤:

1. 确定管理对象。例如,是管理一所学校?还是管理一个企业?对此必须首先予以明确。
2. 获取有关管理对象的信息。例如要管理一所高校,就应对其历史与现状、内部情况与外部情况等充分的调查和了解,并找出直接影响其发展的主要矛盾,除此之外,还要充分知晓管理者自己的主客观信息,以便做到知己知彼。
3. 利用信息制定管理方案,进行决策。决策时要遵循决策程序。
4. 实施决策方案。
5. 收集管理结果信息。在对某一对象实施管理时,必然会产生一定结果,对这些结果信息应及时加以收集并处理。
6. 修正管理决策。如果管理结果信息表明达到了既定目标,说明管理过程是成功的,下面应继续贯彻决策方案;而如果管理结果信息表明未达到既定目标,则说明决策方案有失当之处,于是便应根据新的信息调整管理方案。

7. 再实施修正管理决策方案，直至获得整个管理过程的成功。

实践表明，在管理过程中，自始至终都是离不开信息的，信息手段越高级，管理效果也就会越显著。

二、利用信息改造事物的方法

马克思主义认为，认识世界的目的是为改造世界。信息方法的最高价值亦在于可以利用信息改造世界。

（一）利用信息改造事物方法的适用条件

1. 被改造对象必须是能够接收人类信息的系统。这些系统主要有生物系统（动物、植物、微生物）、社会系统（个人、集体）、智能机系统（机器人）。实践表明，如果一个系统不能接收人类信息，则信息方法便无能为力。例如，河水不能接收人的信息，所以信息方法对河水不起作用，无论你对奔腾的河水怎样发号施令，它照流不误。

2. 改造对象必须是能够理解或相信人类信息的系统。实践表明，如果一个系统能够接收人类信息，但却不能理解或不相信人类信息，则信息方法同样无效。例如，对于不懂外语的人，你就不能用外语支配其做任何事情。古代有“对牛弹琴”一语，其意也是指对于不理解有关信息的牛，无论人们弹出多么美妙的琴声，牛也是不会有任何反映的。医学上有一种暗示疗法，但对根本不相信医生暗示的人并不起作用，也是这个道理。我们欲通过思想工作改变人们的行为也是这样：思想工作必须使人信服才能达到改造人的目的，如果空话连篇，缺乏可信度，则被工作对象就会视若耳旁风，在行为上不会有任何改变。

3. 被改造对象必须是能够执行信息指令的系统。如果一个系统能够接收人类信息，也能理解和相信人类信息，但却没有执行能力，则信息方法仍然是无效的。例如，我命令一个瘫痪病人站起来，病人虽然理解我的话，也想执行命令，但由于其神经被阻断，还是无法站起来的。因而，我们在利用信息方法改变对象行为时，应充分考虑到其执行信息指令的能力。

总之，利用信息改造事物是需要一定条件的。当然，有时为了使用信息方法去改造事物可以人为地去创造一些条件。例如驯兽师的行为就是这样：给一个信号，动物做一个动作，这是动物经多年训练的结果，经过反复训练，不能理解人类信息指令的动物变得可以理解了，所以才能按照人的指令去动作。而未经过训练的动物则不行。农村妇女通过发出一定叫声来召唤鸡、鸭、猫、猪、狗等家畜的过程也是经过对其长期驯养使然的。

（二）利用信息方法改造事物的步骤

1. 确定改造对象。利用信息方法改造事物首先要确立其改造对象。例如是要改造某种生物的行为？还是要改造某个（些）人的行为？是要改造系统的某种结构？还是要改造系统的某种功能？这都要事先加以明确。

2. 确定导致对象变化的信息特征。事实说明，被改造对象的结构或功能（行为）改变是需要特定信息的作用的。因而人们只有将这一特定信息找出来，才能使用信息方法对其实施改造。例如，支配苍蝇飞行方向的信息是某种气味儿，导致老鼠行为的信息是油香或某种声音，老鹰的叫声（信息）可以吓跑在附近栖息的鸟类，防空警报（信息）可以促使人迅速钻入防空洞，如此等等。

3. 收集、复制、模拟导致被改造对象行为变化的信息以备使用。例如，录制某些动物的叫声（信息）以备播放，制造某些具有特殊气味的诱饵（信息）以备使用，研制出某种电脑程序或电磁波以便战时应用等。

4. 通过给对象输入信息对其实施改造。例如，据 2002 年 11 月 4 日英国《卫报》报道：英国科学家研制出一种把食肉鱼改成食草鱼的方法，即往海水中添加一种化学信号——信息素，这种信息素以刺激食肉鱼的脑部，令其产生吃草的冲动。这样时间一长，食肉鱼的食性就会改变，据说这样可以大大节省养鱼成本。另据 2001 年底曼谷当地媒体报道：有科学家发明一种电脑驱蚊程序，运行这个程序之后，电脑可以发出了一种强度适中，频率超过 2 万赫兹的超声波，这种声波人耳听不见，但对蚊子而言却不堪忍受，因而可使蚊子远离人和电脑，据说当时已有 15000 人安装此程序，并获得了完美的驱蚊效果。又据 2003 年 3 月 16 日《科技日报》报道：广州、杭州、合肥和南京等城市的城管部门先后启用了一种俗称“呼死你”的“电脑语音提示系统”，即对城市“牛皮癣”制造者的通信工具不间断地连续拨打，直至其向城管部门“缴械投降”为止，据说“呼死你”开通以来，已有不少人主动接受了处理。此外如通过制造、输入电脑病毒和发射电磁脉冲（EMP）使敌军指挥系统陷于瘫痪、或发布虚假信息使敌方上当受骗等信息战法也是如此。总之，利用信息改造事物的方法具有广泛的适用性，我们应当掌握之。

三、信息方法与其他方法的关系

（一）改造事物的方法分类

人类改造事物的方法很多，但就手段而言无非是三种：

物质方法。即通过物质手段改变事物的方法。例如给农作物浇水、施肥以促进其生长，给水泥加水使其凝固，给病人补充营养或服药以维持其健康，给工厂更新设备以提高其生产力等。

能量方法。即通过能量手段改变事物的方法。例如，通过加热使水变成汽、生食变熟食，通过送电使机器运转、电灯发光、或使金属熔化等。

信息方法。即通过信息手段改变事物的方法。例如，驯兽师通过发出各种指令（信息）支配动物做各种动作，地面控制人员通过发出信号控制人造卫星的运行，有关部门通过发布政策信息或统计信息调节企业生产、经营活动等。

（二）三种方法之间的关系

首先，物质、能量方法是基础。世界是由物质构成的，能量是物质运动的表现形式，整个世界只有用物质和能量方法才能从根本上进行改造。由于信息方法只在一定范围内才能使用，因而并不具有最广大的适用性。而且，信息方法的使用过程也离不开物质和能量，例如，发电报就离不开电报机和电能，等等，所以，物质、能量方法在人们改造世界的全部方法中，无疑占有最基础的地位。

其次，信息方法是主导。人们改造客观事物，虽然最基本的要靠物质方法和能量方法，但信息方法也不能忽视，它在改造客观事物时，对物质方法和能量方法起着主导和支配的作用。例如，物资的运输、能量的输送就离不开信息指令，社会主义革命和建设实践也离不开党的方针、政策的指导，等等。

再次，物质方法、能量方法、信息方法相互结合，成为人类改造客观世界的综合手段。例如，现代化战争既包括人力战，也包括武器战和能源战，更包括信息战。又如，现在大城市对贫困地区的支援，既有人力、物资和能源支援，又有信息（科技、文化等）支援。总之，人们在改造世界的实际过程中，往往不是单独使用一种方法，而是几种方法并用，以收到最佳效果。

（三）信息方法的优点

在人们改造事物的方法中，信息方法具有明显的优点。（1）其作用迅速且不受距离限制。例如，控制人员通过发出信号可以随时控制数百万或数千万公里高空中的航天器的运行，近年诞生的“远距离医疗”也是借助于信息方法的。（2）简便易行。信息方法只需设计出能够发出或传递信息的机构便可采用。例如，国外某些机场常因飞机起飞或降落时将飞行中的鸟类吸入发动机而导致事故，后来，有关人员采用在机场四周架设高音喇叭定期播放老鹰叫声以

驱赶鸟类的办法，收到了很好的效果。(3) 节省物质和能量。信息方法是不能脱离物质和能量的，然而就信息方法所起的作用而言，却远不是其所依据的物质和能量所能比拟的。例如，现代战争中的电子战往往使造价数百万美元的导弹找不到目标而自行引爆，而使用者所投入的物质和能量则甚少，现代医学中的“信息疗法”更是不用打针吃药便能达到治病健身之目的。

人类不是现在才学会利用信息方法改造客观世界的。原始人对动物的驯养、革命者通过制造舆论和提出口号发动群众的方法，都属于信息方法的实例，只不过在信息科学诞生之前，人们并没有将其上升到理论高度来认识罢了。而信息科学则把信息方法作为人们认识和改造世界的方法论武器之一，这是对人类实践和认识的一大贡献。为了更好地从事社会主义现代化建设，我们应努力学习和应用信息方法。

第四章 控制方法

第一节 控制论史

一、“控制论”概念的由来

控制论 (Cybernetics) 这个词不是现代才有的。早在古希腊时期, 柏拉图就使用了“控制论”这个词 (Kulpvnlkn), 原意是管理国家和“掌舵的艺术”。后来到 1834 年, 法国科学家安培 (Ampere, Andre Marie, 1775—1836) 写了一篇论述科学哲理的文章, 其中谈到应加强对社会管理方法的研究, 并把古希腊语翻译成法语 (Cybevetique) 以表示这种方法。1948 年, 美国数学家诺伯特·维纳 (N·Wiener, 1894—1964) 创立了一门新的综合性学科, 即“关于在动物和机器中控制和通讯的科学”, 他把这门学科命名为“控制论”。从此, 控制论就做为——门科学理论立于世界科学之林了。

二、控制论产生的历史过程

控制论的产生主要与两个因素有关, 其一是生产自动化趋势的要求, 其二是计算机技术的促进, 具体历史过程可分为三个阶段。

(一) 古代的控制论思想和实践

古代的控制论思想和实践主要是关于自动机的思想和实践。据史料记载, 早在 4000 多年前的中国古代, 就已经有了自动计时的“铜壶滴漏”装置以及自动定向的“指南车”了,^[1] 相传黄帝族就曾借助指南车的威力, 战胜了蚩尤族。另据《列子》记载, 远在两千多年前的周穆王时, 有一个叫偃师的巧

[1] 战国以后, 指南车制造工艺失传, 直至南朝时, 才又由祖冲之和索驭麟分别按“顺逆差速”和“离合差速”原理将其创造出来。目前, 中国历史博物馆有一指南车模型。

匠，也曾制造了一个能歌善舞的木头人，这个木头人走路来像真人一样，昂首、低头、并能斜着脸合乎规律地唱歌，拍起手来合乎节拍地舞蹈，活灵活现。明人写的《五杂俎》提到，诸葛亮在隆中时，有一次来了几个客人，他叫妻子做面食招待，那时做面食比较麻烦，花费时间亦较多，谁知妻子不一会儿却做好了，这使诸葛亮大为惊异。后来，他趁其妻另一次做面食时偷偷注意，才发现是几个木头人在帮助打麦和磨粉，于是诸葛亮根据这些木头人的工作原理，进一步研制成了会自动行走的“木牛流马”。^{〔1〕}唐代古书《朝野僉载》说，唐朝工匠杨务廉，他制造的木头人不仅能行走，还会开口说话，他手制的一个“和尚”，手执木碗，能走在街上向行人化缘，有人把钱投入他的木碗，“和尚”就会开口说声“布施”，这件事在当时轰动一时。又据宋人沈括写的《梦溪笔谈》介绍，宋仁宗庆历年间，有一个姓李的术士，用木料制成“自动木人”钟馗。这个钟馗右手执一把铁简，左手上面放鼠饵，老鼠爬上左手取食时，触动机关就被抓住，右手随时用铁简将老鼠打死，真是灵巧至极。

在西方也是这样。如在古希腊时，有人制造了一架专供戏院用的机械自动机，据说这架机器能自动模仿人的各种动作：锯、钻、砍、钉钉子、进行修理和把船放到水中等。除此之外，还能自动地打开和关上戏院的门，设置和改变舞台上的布景等。这实际上就是一个机械人。

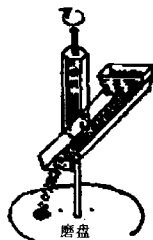
到了中世纪，这种自动装置就愈来愈多起来了。例如在文艺复兴时期，意大利有一个伟大艺术家、工程师和思想家——列奥纳多·达·芬奇（Leonardo da Vinci, 1452—1519），他有一次根据国王的命令制造了一头机械狮，据说这个狮子能够在金銮殿内独自走动，并会自动地在国王路易十二的宝座前停下来，用爪子打开自己的胸腔，于是白百合花就洒落在国王脚前。

在13世纪时，德国有一个叫阿尔伯特的自然科学家还制造了一个“铁人”，这个“铁人”专门给他做看门工作，能自动开门和关门。当时有一个叫托马斯·阿奎那的神学家，认为“铁人”的动作有妖术，竟用锤子把“铁人”

〔1〕“木牛流马”制造技艺久已失传。1985年，新疆工学院古机械研究室的王澍（原北京农机学院1969届毕业生）经过多年努力，将其复制成功。该“木牛流马”长115厘米，高82厘米，前部装有一个木雕牛头，后部装有两根木质把手，在人的推动下，“木牛流马”步伐稳健轻快，进退转弯自如。1992年，王澍又复制成功了“鲁班木车马”（早于“木牛流马”700余年），该木车马长近一米，高约50厘米，在绳子牵引下，能驾着整个双轮木车稳健行走，如遇下坡，“木车马”还能靠自身重力自动行走。整个“木车马”全部用木头制成，无任何内动力装置，其行走主要靠世界上的罕见的四套并联八连杆机构来完成。据《羊城晚报》港澳海外版，1992年4月4日。

给打碎了。

此外，当时在欧洲各国，普遍采用风磨磨面粉，在这个风磨上有一个自动调节谷粒下落数量的装置（图四1），当磨盘及其结合棱的转速加快，盛谷粒槽的振动也增强，结果落下谷粒的数量增多，由于载重增加，磨盘的转速就相应降低，反之，磨盘的转速又会相应加快。



图四1 谷粒送到磨上自动调节数量的工作基本示意图

17 世纪，瑞士的两个钟表匠又制造了模仿人的行为的更完善的自动机。例如，比埃尔·德罗就制造了一个叫“抄写者”的自动机，这个自动机可以坐在板凳上用羽毛在纸上写一些字，在写字之前，还在墨水瓶中沾一下笔，然后摇晃着头写字，而在写完字之后，还在纸上撒些砂土，然后把它抖掉，这实际上已是一个机器人。后来，他儿子安利·德罗又制造了一个叫“女音乐家”的机器人，它能用手按手风琴的键，奏出简单的曲子。当时有人控告他犯了“施行妖术”罪，因而受到严刑拷打。

上面这些例子说明，关于自动控制的思想和技术，早在古代就已经有了，不过其机械原理都还比较简单，而且主要是用在生活娱乐方面，与社会生产的联系并不紧密。

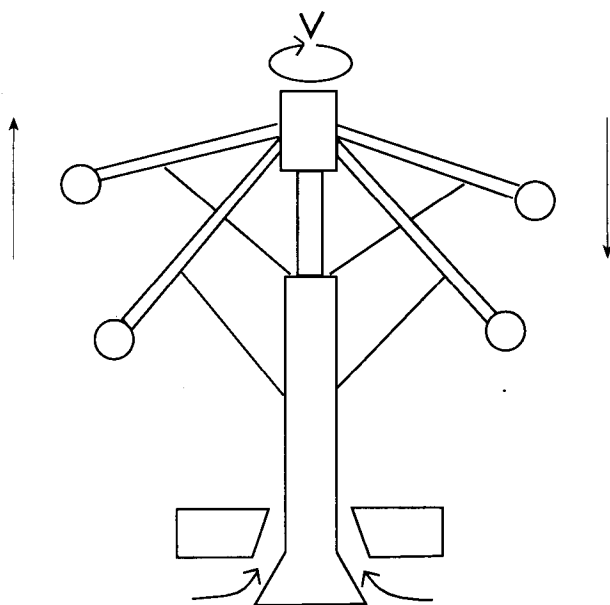
（二）近代的控制论萌芽

近代的控制论萌芽主要是在机械化大生产之上产生的自动调速技术和后来发展成的伺服机理论。

1. 自动调速技术。

中国古代的“铜壶滴漏”，欧洲古代的风磨以及后来发明的机械钟表都属于自动调速技术。近代最典型的自动调速技术是瓦特在 1787 年发明的一种装在蒸汽机上的离心式调节器。大家知道，由于蒸汽机的发明、使用，导致了第一次工业革命。但开始造的蒸汽机并不是很理想的，其中一个较大缺点是汽机转速不稳定，时快时慢，而这种转速不稳定又是由负荷的变化而引起的，负荷大，汽机转速就慢，反之则快。为了解决这个问题，瓦特在汽机转轴上装了两

个“飞球”，“飞球”的旋转半径缩小，与其连接的阀门就会下降，进汽口加大，缸内压力迅速增高，从而使汽机转速加快；如气机转速过快，“飞球”的旋转半径增大，这时由于阀门上升而进汽口又缩小，缸内压力降低，汽机转速又会放慢下来。这个装置实际就是一个自动调速装置，由于有了这一装置，蒸汽机的应用才真正普遍起来（图四2）。



蒸汽

图四2 瓦特汽机调节器

瓦特发明调节器后，基本上解决了汽机的恒速运转问题，但人们又很快发现，这种调节器不够完善，即不能十分准确地把气机速度控制在某一值上，而是忽大忽小剧烈振荡。于是控制论中一个十分重要的问题——稳定性问题又提出来了。著名物理学家麦克斯韦于1886年首先从理论上解释了这种不稳定现象，他用微分方程描述了汽机调节器，发现其不稳定原因是由于微分方程的解中包含发散的指数项，并提出了一个稳定性的代数判据。后来到了1895年，数学家罗斯和赫维茨又把麦克斯韦的判据推广到高阶的微分方程中，发现了著名的罗斯判据和赫维茨判据，这两个稳定性判据至今仍在工程控制论中使用。

2. 伺服机理论的建立。

自动调速技术的发明对机械化大生产起了很大促进作用。到 19 世纪 40 年代,工厂中便形成了由工作机、传动机和动力机组成的机器系统,开始了机械化大生产的时代。

机械化大生产开始还离不开人的手工操作,特别是加工机器零件的工作,更要凭经验用手去控制。然而这种劳动方式的时间一长,工人就难免由于生理疲劳而出现肌肉抖动和无意识动作,这样就会影响加工部件的精确性,特别是随着机器结构的复杂化和对加工精度的不断提高,手工操作就愈来愈不适应了,这样就需要设计一种自动控制机器加工过程的辅助系统,以代替人工操作。于是,比自动调速器更复杂的伺服机系统就出现了。

所谓伺服机,就是用来保证主机正常运转的辅助性机构。例如,在机器制造业中的各种自动车床、自动铣床、自动钻床就是借助伺服机构进行控制的。伺服机系统的出现,为生产自动化奠定了初步基础。

3. 反馈概念的提出。

无论是自动调速技术,还是伺服机理论,都是以反馈思路为基础的。19 世纪 70 年代,斯洛伐克工程师斯托多拉研究了“具有刚性反馈的间接调整系统”,开始建立起明确的“反馈技术思想”。1932 年,美国的奈奎斯特又在研究电子管放大器频率响应问题时,提出了一个十分重要的概念——反馈概念(feed back),意思就是把电路或装置的一部分输出信号再送回输入端,以提高电子装置的功能(增强信号、保持电路稳定等)。这种电子学中的反馈概念对自动控制理论和实践的发展起了极其重要的作用,可以说,没有这种反馈概念的引入,就不可能有现代控制理论。

(三) 现代控制论的建立和发展

现代控制论的建立和发展主要是同计算机科学、信息科学以及神经生理学的建立和发展联系在一起的。

无论是古代的自动控制技术,还是近代的伺服机技术,都是借助事先设计好的机械传动方式来实现的,不能随着环境的变化而变化,因而缺少高度的灵活性。要解决这一问题,就必须研制一种能及时从环境中获取信息并加以迅速处理和传递的机构,计算机技术正是适应这种需要而诞生的。1946 年,第一台“埃尼阿克”(ENIAC)型电子计算机问世,其运算速度为 5000 次/秒,能在 30 秒内计算出进行射击的弹道表(而用普通计算工具则需 20 小时),这台电子计算机的诞生,是成功应用控制论思想的一次体现,同时它也反过来要求人们从理论上进一步阐明控制论思想。

20 世纪 40 年代中后期,申农信息论也处在孕育和形成时期,申农信息论

主要是关于信息传递的理论，他们要解决的主要问题是使接收端（信宿）收到和发送端（信源）尽可能相同的信息，而这一点在自动控制过程中是绝对必要的。

这一时期，生物学家对生物自我调节行为的研究也获得了一定的进展；我们知道，一切生物都是能够根据周围环境的某些变化来调整自己行为以维持生存的，如动物捕食的行为就是这样。然而这种自动调节的机制是什么呢？早在17世纪初期，法国科学家笛卡儿曾试图用力学机器的行为来加以解释，虽然没有成功，但对后来的生物学研究不无启发作用。本世纪初期，苏联生理学家巴甫洛夫又从神经生理学的角度对动物高级神经活动进行了长期研究、实验，提出了反射理论，认为生命体的活动服从于某种操作规则。接着，坎农（Cannon）、阿希贝（W·B·Ashby）等人也对动物组织的闭环反馈行为作了大量研究，提出了同态调节等新概念，这样一来，神经生理学也日渐成熟。

美国数学家诺伯特·维纳曾参加了上述三大学科领域的研究工作，并获得了显著成果，早在30年代于麻省理工学院工作期间，他便产生了用数字计算机代替模拟计算机的设想，1940年，他还提出了数字计算机设计的五点建议，只是由于负责人布希的未予重视¹⁾才没有付诸实施；在信息论方面，维纳还提出了著名的“滤波理论”，并把通讯问题与控制问题联系起来加以研究，站在理论的高度，揭示了二者的共同本质——信息传递；1946年夏至1947年秋，维纳还到墨西哥国立心脏研究所，与罗森勃吕特（A·Rosenblueth）共同进行了神经反馈方面的实验，取得了许多解释控制论的数据。此外，维纳还到过欧洲，并在中国清华大学的数学系和电机系任教（1935年8月—1936年5月），这期间他接触了各学科的科学家，开阔了视野；他还曾和罗森勃吕特等人利用每月一次聚餐会的方式组织科学讨论会，交流思想，在1943年—1944年间，他又和电子计算机的创始人、数学家冯·诺意曼（Neumann, John Von, 1903—1957）共同发起召开了有关各门科学家、工程师参加的学术讨论会，1946年—1948年又多次参加了在纽约等地召开的“生物和社会系统中环形系统和反馈机理”的学术会议。通过所有这些学术活动，维纳吸取了大量知识，总结了丰富的经验，为控制论的创立准备了充分的理论条件。

第二次世界大战期间，维纳还参加过英美等国研制新式防空武器的工作。所谓新式防空武器，主要就是“自动火炮”，因为当时德国法西斯的飞机速度已经非常快，机动性也特别强，以至于靠眼睛观察和手工瞄准来发射炮弹已经来不及了，因此便需要用雷达自动瞄准。而雷达自动瞄准的过程实际上就是一

[1] 布希当时认为这是未来才能考虑的事。

个依靠信号反馈而不断调整炮口方向的过程，最后实现击中目标的目的。

当时，维纳曾将火炮跟踪飞机的动作与人的狩猎行为作了比较，认为二者的反馈调节原理是一样的：人在举枪射击猎物时，若发现枪口往左偏，就会往右校正；如发现枪口往右偏，又会自动往左校正，直至击中目标。火炮自动跟踪飞机的原理与此是相同的。这样一来，他就借助于反馈调节概念，找到了生命体与非生命体——机器的一致性。1943年，维纳与毕格罗（J·H·Bigelow 美工程师）和罗森勃吕特三人共同发表了《行为、目的和目的论》一书，这是维纳开始创立控制论的重要标志。

1947年，维纳参加了在法国南锡举行的调和分析的数学会议。就在这次会议上，维纳接受了赫曼书店弗里曼的要求，于1948年出版了《控制论》一书，从而宣告了这门科学的正式诞生。

三、20世纪以来控制论发展的三个阶段

（一）经典控制论阶段（20世纪40—50年代）

维纳控制论属于经典控制论，它主要研究的是单因素控制系统或时不变系统，其核心是各种自动调节器、伺服系统与有关电子设备，在实践方面主要用于单机自动化。例如，用自动调节器来控制水塔的水位，电冰箱的温度，发电机的电压，电动机的运转；用伺服系统使雷达自动跟踪目标运动，控制火炮自动瞄准射击，以及飞机、舰艇的自动操舵系统等都属于单因素控制。

（二）现代控制论阶段（20世纪60—70年代）

现代控制论主要研究的是多因素控制系统或时变系统，重点是最优控制，其核心是电子计算机，在实践方面，主要用于机组自动化。例如，导弹飞行控制即属于多因素控制。因为导弹在飞行过程中要受到各种因素（天气因素、引力因素、电磁波等）的影响和干扰，只有克服所有这些因素的影响和干扰，才能保证导弹准确击中目标。企业自动化管理也属于现代控制论的研究对象。

（三）大系统理论阶段（20世纪70年代—）

大系统理论的研究对象是一些多因素、多层次的控制系统，其核心装置是巨型计算机或电子计算机的联机，在实践中主要用于综合自动化。例如，生态系统、经济系统、军事系统、以及整个社会系统都属于多因素、多层次的大系统，对这样的系统进行控制，不用大系统理论是绝对不行的。1975年，在罗马尼亚召开了第三届国际控制论与系统论会议，主题即经济控制论，着重研究

现代化的经济管理问题。1978年，在荷兰的阿姆斯特丹又召开了第四届国际控制论与系统论会议，主题是社会控制论，即研究对社会各种系统进行综合管理问题。控制论的这种发展趋势，超出了维纳的预料，因为他在1948年发表《控制论》时曾说过：把自然科学方法运用到社会科学方面去，企图取得同样程度的胜利，是“过分的乐观”和“虚伪的希望”，而控制论的发展表明，他的这个观点显然已是保守的了。

四、控制论的分支情况

控制论发展到现在已形成了四大分支理论体系。

（一）工程控制论

这是由我国科学家钱学森于1954年创立的。是年，他在美国用英文发表了《工程控制论》一书，在科学界产生了极大影响。工程控制论主要研究具体工程技术的控制系统，运用的主要工具是连续数学。诸如建造飞机、研制导弹、控制航天器飞行等都要用到工程控制论。20世纪70年代以后，由于电子计算机的广泛应用和生产过程的高度综合自动化，带来了控制思想、手段、方法的迅速更新，促进了工程控制论的进一步发展。

（二）生物控制论

生物控制论几乎是与维纳控制论同时产生的，但一般认为它在20世纪60年代以后才开始成熟。生物控制论主要研究生物系统的自我调节、自我复制和有选择地反应环境等的机制问题，它涉及神经系统、生理调节系统、内分泌系统、肌肉运动系统等等。目前，美国已用生物控制论方法培育出了新的瘦肉型猪和耐除草剂的大豆，日本培养出了新的酵母菌以制造葡萄酒，英国科学家培育出了“克隆羊”，我国科学家培育出了色彩棉花^{〔1〕}和谷穗直立的谷子，国外甚至还有人欲通过生物控制法制造新的人种，专门从事人所不及的劳动。总之，生物控制论的发展前景极为广泛。

（三）社会控制论

社会控制论的萌芽也比较早，前已指出，控制论一词在古代就有管理国家之意，近代的安培也提出过这种认识，维纳的《人有人的用途》（1950年出版）一书也以“控制论与社会”为副标题。现代意义上的社会控制论是20世

〔1〕 美国在1988年便已培育出有色棉花。

纪70年代以后逐渐形成的,它是指把控制论的基本原理应用于社会学、行政管理、法与法律、经济学、企业管理、城市管理、人口控制等社会领域的一种总称。例如,维纳就曾用控制论观点解释过法律,他说:“法律可以定义为对通讯和对作为一种通讯形式的语言在道德上的控制,特别当法律准则处于某种强有力的权威控制之下,法律的决定能充分得到社会的有效承认时,这个定义就更切合了。法律是对联系各个人行为的‘纽带’进行调整的过程,它使我们所说的公正能够实现,争执可以避免或至少可以得到裁决。因此,法律的理论 and 实践包括两类问题:一是关于法律的一般目的和公正的观念,以及为了使这些公正的观念能发生效用而采取的手段。”^[1] 目前在社会控制论中,经济控制论占有特别突出的地位,并在经济管理的现代化方面起着重要作用。

(四) 人工智能

人工智能是在电子计算机基础上发展起来的一种控制理论,其主要研究对象是智能模拟问题。例如,用电子计算机模拟人的对弈、定理证明、文字翻译、诊断疾病,甚至学习和操作过程等均属人工智能的研究领域。人工智能正式诞生于1956年夏天于美国举行的一次以人工智能为名义的讨论会,会议的主题是探讨用计算机模拟人类智能的可能性。1962年,这一工作得到了美国国家航空和航天局、美国高级研究计划局的大力支持,至1965年,在美国已先后建立了四个人工智能研究中心,即卡内基—梅隆大学、马萨诸塞理工学院、斯坦福大学和斯坦福研究所。从20世纪70年代开始,人工智能在美国逐步呈现企业化趋势。1982年,国际“人工智能联合会”在美国匹兹堡大学召开了人工智能发展会议,参加人数多达1500人。目前,人工智能正在向研究具有感知和理解周围环境、使用语言和推理、规划和操纵工具、模仿人完成某些动作的能力的方向发展,并已取得显著成绩。例如火海救人机器人,海中智能机器人,指挥交通机器人等目前均已研制出来,1997年5月11日美国研制的超级智能机“深蓝”还战胜了世界国际象棋冠军卡斯帕罗夫,为人工智能赢得了巨大声誉。一些科学家认为,某些智能机已具有相当于4岁~5岁儿童的综合智力水平,可以确信,随着研究工作的不断深入,人工智能的综合智力水平必将进一步提高,它在人类社会生产和生活中的作用也将更加巨大。

[1] 维纳:《人当做人来使用》,见《维纳著作选》,上海译文出版社1978年版,第92页。

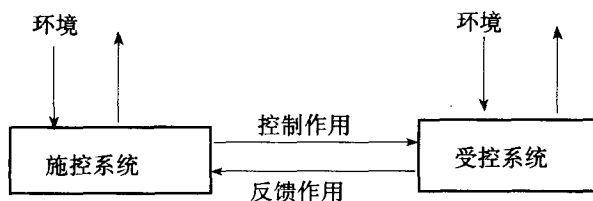
第二节 什么是控制和控制系统

一、控制的定义

所谓控制，就是指在一定环境中，一个系统通过一定方式驾驭或支配另一个系统做合目的运动的行为及过程。例如，司机驾驶车辆前进的过程就是控制过程，母畜带领幼畜找寻食物的过程也是控制过程，电冰箱的工作过程亦是控制过程，政府调控经济的过程亦是控制过程，等等。

二、控制系统及其构成

由各种控制要素构成的整体称为控制系统（图四3）。这些控制要素主要有：



图四3 控制系统模型图

（一）施控系统

实际的施控系统主要有人、生物、机器三种类型。其中，人包括个体和群体两种形式，如军事指挥员就是控制个体，各级政府则是控制群体；生物施控系统主要是指动物，如动物捕食的过程就是个控制过程，生物施控系统有时是个体，有时是群体（如狮群）；机器施控系统主要指自动机，如航天飞机上的自动控制系统，水塔上的水位调节器亦可看成是施控系统。实际情况表明，施控系统有时是生物、人、机器，但也有时是人和机器的组合，即人——机施控系统。例如美国的“登月飞船”以及航天飞机上的施控系统就是人——机施控系统。目前有些飞机、火车、甚至汽车上也安装有这种人——机组合施控系统，设置人——机组合施控系统的目的是为提高控制过程的安全和可靠性。

（二）受控系统

主要有自然界和社会两大类型。如农作物就是农民的控制对象——受控系统；人工降雨中的雨也是受控系统；作为受控系统的社会现象很多：如政治、经济、思想、教育……都属于受控系统。教师讲课过程中的学生也是受控系统。

（三）控制手段

是控制过程的关键环节，按性质可分为两大类：

1. 自然手段。主要有三种形式：（1）物质手段。如给云层喷洒干冰或碘化银，促其下雨；给农作物施肥浇水，促其生长；给病人打针吃药，使其恢复健康。（2）能量手段。如用电能把水烧开或使机器运转，用燃烧煤炭来冶炼金属，用磁能托起列车（磁悬浮列车）。（3）信息手段。如用无线电信号操纵无人驾驶飞机和航天器飞行，用哨声指挥吊车工吊物，用信号灯控制车辆行驶，等等。

2. 社会手段。有多种形式：（1）政治手段（含军事手段），如我国港澳问题的解决就依靠的是政治手段，行政手段也属于政治手段。（2）法律手段。如“依法治国”的过程就是用法律手段控制国家的过程。（3）道德手段。以德治国的过程也是用道德控制国家的过程。（4）经济手段。如税收手段、金融手段、价格手段等。（5）文化手段。如舆论手段、教育手段、艺术手段等。（6）制度手段。如各项管理制度。

应当指出，在实际的控制过程中，往往是各种手段综合并用的，例如汽车司机对车辆运行状况的控制就包括手握方向盘（物质手段）、脚踩离合器及闸板（物质手段）、脚踩油门和手动气控车门（能量手段）、手按喇叭和指示灯（信息手段）等多种手段。具体一个控制过程究竟需要多少控制手段，需根据实际情况而定。

（四）控制目的

控制过程是一个有目的的过程，没有目的的过程不能叫控制。如西伯利亚寒流南侵，使我国大部分地区出现降温或降雨，这就不能叫控制，因为降温并不是西伯利亚寒流南侵的目的，而只是其必然结果，西伯利亚寒流本身也没有目的性。当然，人工降雨过程就是一种控制行为了。又如，河流携带泥沙使河口出现绿洲；地下岩浆冲出地面，堆积成火山；大风把树木刮倒、摧毁禾苗等等也都不叫控制，因为这些过程都无目的性。

（五）控制环境

任何控制过程都是在一定环境中发生的，并且受着环境的重要影响。例如我们搞社会主义现代化建设过程就是一种控制过程，它是在“和平与发展”的国际环境中进行的，并受着这一环境的深刻影响。公安部门对社会治安的控制过程也是在我国改革、开放的社会环境中实施的，因而必须根本改变计划经济时代的控制方式。我国政府对腐败问题的控制也必须充分考虑到现实的政治、经济、文化环境，否则难以收到成效。

三、控制的实质

控制过程的实质是施控系统在受控系统的多种可能运动状态中进行选择的过程。这种选择主要有两种类型：

（一）状态选择

任何受控系统都有多种可能的运动状态，而控制过程就是选择一种或几种运动状态作为控制目标的行为过程。例如开关电灯就是一种状态选择过程（控制过程）、卫星姿态控制（天线始终指向地面站）过程也是一种状态选择过程，对奕则是使棋子在 N 种走法中择其一种。此外如小孩子学习骑自行车，大人在后面扶着（控制），为什么扶着？因为小孩子骑上车后有三种可能：一是往左倒，二是往右倒，三是往前走。大人的任务就是使他别往左倒，也别往右倒，而是用力扶其往前走，即在这三种可能状态中，选择一种可能状态。

（二）范围选择

如海滨浴场通常都用绳索围出一定区域，游泳者不得越线，这是对游泳范围的控制。有的学校规定，优秀生的各科成绩在 90 分 ~ 100 分之间，这也是分数范围的一种控制。人的生理指标也有一定范围，如白血球含量一般在 5000 ~ 10000 之间为正常值，低于 5000 或高于 10000 都属于病态，须加以治疗。

四、实施控制的基本条件

从控制过程的实质中不难看出，控制过程的实现需要两个基本条件：

（一）受控系统存在多种可能的运动状态

这样可供施控系统进行选择，如果受控系统只有一种可能的运动状态，则施控系统无法选择，因而也就谈不到控制。例如光在真空中的速度就是每秒

299793 公里，没有第二速度，因而人们在真空中也就无法对光速进行控制。又如就最终结果而言，资本主义制度一定会被社会主义制度所取代，只有这一种可能性，因而资本主义社会的这一发展结局也是无法控制的。

(二) 施控系统必须具备选择受控系统运动状态的能力，如果没有这种能力，控制也就成为不可能。例如，你没有掌握汽车驾驶技术，就无法控制汽车；又如，对于台风、地震等自然灾害，目前人类尚无法让其不发生，因而也就谈不到控制。

施控系统的控制能力主要由两方面构成：

1. 感知能力。例如，电冰箱中的温控器必须能感知温度的变化，水塔中的控制器必须能感知水位的变化，汽车驾驶员必须能感知路面以及汽车本身的状态。

2. 实际操作能力。例如，电冰箱中的温控器必须具备接通或断开电源的能力，汽车司机必须具备手握方向盘，脚踩离合器等驾驶能力，政府也必须具备行政、法律等能力才能控制经济运行。

2001 年 3 月《光明日报》军事版登了一篇报道——“夜空 8000 米惊魂”，讲的是我南海空军搞的一次军事演习状况：3 月 20 日下午 7 点 40 分，一架轰炸机奔袭千里之外，轰炸一个岛上目标，正要返航时，突然驾驶室“嘭”的一声巨响，舱内机组人员全部失去了知觉。二分钟后，机长蒙强第一个苏醒过来，一看飞行仪表，飞机正向右急转，舱内压力从 0.4 降到了 0.025，飞行高度是 8300 米，温度零下 40℃，再环视一下四周，发现座舱盖崩裂，又过 30 秒后，其他人也苏醒过来，他们赶快调整方向，降低高度，终于安全飞回机场。22 点 21 分，飞机安全着陆，在这个过程中，驾驶员如果长久失去感知能力，或丧失操作能力，机毁人亡的结局就难免发生。

实践表明，施控系统的控制能力大小是不同的。这种控制能力的大小用什么来衡量呢？有人提出用实施控制前的状态空间 M （可能性）同实施控制后状态空间 m 的比值来衡量，控制力用 F 来表示，写成公式则为：

$$F = \frac{M}{m}$$

从这个公式中不难看出：在施控前的状态空间 M 不变的情况下，若施控后的状态空间愈小，则控制力越强，反之则控制力越小。例如，打靶是一种对子弹运动轨迹进行控制的过程。打靶时，即使一个优秀的射手，也很难每枪必中靶心。但一个优秀射手与其他射手相比，他能将弹着点控制在一个较小范围。因此，我们就说他的控制能力更强些。拿上述公式来说，显然，弹着点的范围 m 愈小，其 F 值也就越大。

五、控制系统的分类

对于控制系统，可以用不同方法进行分类，我们这里按照输入与输出的关系来分类。

先介绍一下输入与输出这两个概念。

输入，指施控系统给受控系统送进一定的物质、能量或信息。

输出，指受控系统在施控系统作用下送出一定的物质、能量或信息。

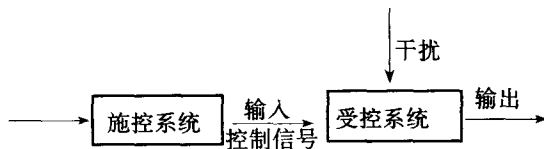
例如，物资供应部门给工厂送进原材料，这是物质输入，工厂生产出产品，这是物质输出；水力发电、火力发电的过程属于能量输入和输出的过程（机械能、热能输入电机，发电机发电为输出）；人们操纵计算机的过程则是信息输入与输出的过程。

这里应当指出，在实际控制过程中，物质、能量、信息的输入和输出并不是绝对分开的，而往往是结合在一起的。在输入输出物质的过程中，往往伴随能量或信息的输入和输出，而在输入输出信息的过程中，也往往伴随物质或能量的输入或输出，当然，在信息传递过程中，伴随的物质和能量传递过程非常微弱，但也不等于无。

搞清了什么是输入和输出，我们就可以根据它们的关系来把控制系统分为这样两类：

（一）开环控制系统

所谓开环控制系统就是指输入直接控制输出而不受输出影响的控制系统，其原理框图如下（图四4）：



图四4 开环控制系统模型图

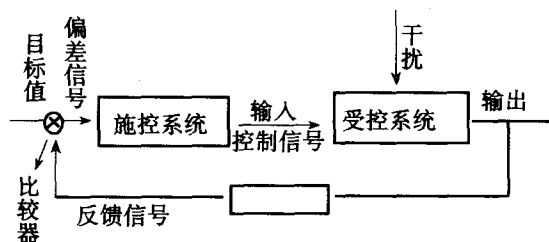
例如，射箭就是一个开环控制系统，因为箭一旦离弦而去就无法再控制了。在社会生活中，有的领导者只顾发指示让下属去干，但干的结果如何却不管，这样由领导和被领导组成的控制系统也属开环控制系统。

从开环控制系统的实例中可以看出，其优点是结构简单，容易设计；但缺点是易受环境因素干扰，控制效果差，如射出去的箭一遇较强的侧风，就会严

重偏离目标。因而欲保证控制成功，必须在施控之前就考虑到干扰因素的影响。

（二）闭环控制系统

所谓闭环控制系统，就是指用输入控制输出，同时根据输出的回输（反馈）来调整输入的控制系统，其原理为（图四5）：



图四5 闭环控制系统模型图

例如，汽车司机和汽车组成的控制系统就是一个闭环控制系统。一方面，司机要开动汽车前进；另一方面，他又要根据汽车实际运动的状况扭转方向盘，对汽车行进方向进行调整，使其沿一定路线前进。司机的大脑就是一个接收、处理反馈信息并发出调整信息的机构，没有这种反馈调节机制，司机就无法驾驶汽车正常行进。

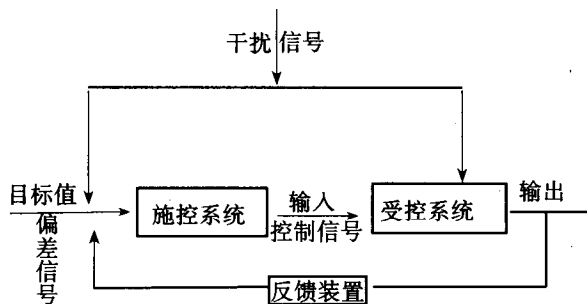
从上述闭环控制系统实例中可以看出，这种控制系统的控制过程实质上是一个不断根据输出来调整输入的过程，因而其优点是能在变化的环境中进行控制，或者说它比较灵活，容易较好地达到控制目的。但其缺点是结构较复杂，多了一个反馈装置，控制过程也略难一些。至于反馈的有关问题，我们下一节再讲。

顺便指出，某些控制论著作中所说的控制论系统，实际上即指这种闭环控制系统。

（三）组合控制系统

由于上述两种控制系统各有优缺点，所以人们有时又把二者结合起来，构成一个组合控制系统（图四6）：

组合控制系统的特点是：施控系统在发出控制信号之前要充分考虑到干扰因素的影响，同时在施控过程中，又要不断根据系统输出来调整控制信号，这样就能取得更好的控制效果。



图四 6 组合控制系统模型图

例如，国家在制定各项政策和法律时，既要充分考虑到各种可能出现的实际情况，以使政策和法律尽量完善，同时又要注意根据实际贯彻结果不断对政策和法律进行调整，这样便能较好地保证政策和法律发挥出最佳效能。

在这里特别要注意两点：一是在实施控制之前，施控系统（特别是人）一定得有一个尽量完好的计划或实施方案，决不能边干边制定方案，那样做危险性较大；二是在有了一个比较完好的计划之后，还要注意在执行过程中不断根据实际情况进行调整和修正；无论忽视哪一方面，都是难以取得最佳控制效果的。

第三节 控制方式

控制方式有很多，有些人虽然不懂控制论，但在做实际工作时，也往往用到其中一些，只是没有上升到理论高度。前面曾讲到过物质控制、能量控制、信息控制三种方式，这是就控制的具体手段而说的，此外，还可根据施控系统利用信息的方式，将其划分为六类：

一、随机控制

随机控制也叫试探性控制，这是最原始的控制方式，也是其他一切控制方式的基础。

所谓随机控制，就是指对一个系统的受控条件不了解，只有在一定范围内经过试探，才能发现其受控条件并加以控制的方法。

例如，某人新买回一台彩色电视机，打开开关后图像不清晰，这时首先需要调整室内天线方向，但哪一个方向接收效果最好并不知道，于是只好将天线上下左右扭动，直至图像最清晰为止（当然有时还要调整其他旋钮），这一过程亦即随机控制过程。此外如开始学习骑自行车、开始学习投球以及地质勘探等均属于随机控制过程。

这种随机控制方法应用非常广泛，特别是当人们刚刚开始研究或处理一个问题时，对解决问题的途径还缺乏了解，在这种情况下，就只能用随机控制方法解决。

运用随机控制方法应注意三个方面的问题：

1. 应注意受控系统的可能性空间（范围）大小。一般来讲，一个随机控制过程的完成时间（ T ）和受控系统的可能性空间（ S ）的大小成正比。也就是说，施控系统搜索的范围愈大，完成随机控制所需要的时间就愈长。例如，在 10 平方公里的范围内寻找飞机残骸要比在 5 平方公里范围内寻找飞机残骸所花的时间长得多（特殊情况例外），在 100 个可疑分子中寻找一个罪犯也要比在 10 个可疑分子中寻找一个罪犯花费更多的时间。

2. 要注意选择速度的快慢。完成一个随机控制过程的时间（ T ）不仅取决于受控系统可能性空间（ S ）的大小，而且还取决于施控系统的选择速度（ V ）。一般说来，选择速度愈快，所需时间愈短；选择速度愈慢，所需时间愈长。也就是说，完成随机控制过程所需时间与选择速度成反比例关系。所以，对于一个可能性空间很大的控制对象，只要选择速度快，仍可采取随机控制。例如计算机检索装置，可迅速查出人们需要的资料。

3. 要注意随机控制的有效性。所谓有效性，就是指搜索目标必须包括在搜索范围之内。如果不在这个范围之内，搜索就是无效的。例如电视机图像不清是由于其内部质量有问题，则无论怎样调整天线及其旋钮都是没用的。又如，一个罪犯已经逃出某一城市，则在该城市内公安人员无论花费多大力量也是不能将其捕获到的。因此，我们在实施随机控制时，一定要注意对受控系统存在的可能性空间有充分的估计，随时准备扩大搜索范围或改变搜索范围，以防把一部分可能性空间遗漏掉，增加控制的有效性。

二、记忆控制（经验控制）

随机控制有一个很大的缺点，即如果你的运气不佳，可能要花费很多时间才能搜索到目标。因为你在选择过程中，有可能会重复选择不是目标的状态，这就浪费了时间。为了解决这个问题，提高控制效率，人们常常用一个记忆装置，把已被证明不是中选目标的状态从可能性空间中排除出去，以求避免重复

选择，这样一来，随机控制就变为记忆控制了。

所谓记忆控制，就是指把随机控制所获得的经验记录下来，用于指导下一次控制的控制方法。

例如，在事先不知道某一电台频率的情况下，要收听这一电台的节目，就必须通过调频旋钮去寻找，一旦找到该电台位置，就把它记忆下来，以备下次收听该台广播时，直接将旋钮调到该处。又如，古代中医在治疗某种疾病过程中，开过很多药方，但其中某个药方最为灵验，于是就被作为验方记忆、流传下来了，这都属于记忆控制。在记忆控制中，有时要求给经过证明是目标状态的对象做上记号，也有时要求给经过证明不是目标状态的对象做上记号，如在确定犯罪嫌疑人时经常使用的“排除法”则属于后一种情况。究竟采用何种记忆方法可视具体情况而定。

同随机控制相比，记忆控制有一个重要优点，即随机控制的可能性空间在达到目标值前不缩小，而记忆控制的可能性空间在达到目标值之前是随着选择次数的增加而逐步缩小的。这是因为，随机控制有可能重复选择非目标状态，而记忆控制则不可能重复。而且，即使你的运气再坏，其选择次数最多也就是事物运动的可能状态之和，例如在 10 件商品中选择一件商品（假如有一件能满足你的需要），则最多选择 10 次就能达到目标了。

运用记忆控制方法，也要注意三方面问题：

1. 记忆装置应该灵敏可靠，在记忆过程中不至于记错。这主要是指，别把失败的经验记成成功的经验，更不要把成功的经验记成失败的经验，因为这样一来，就把目标从选择范围中排除出去了。

2. 必须注意系统发展的可能性空间内是否存在“陷阱”，并在搜索目标过程中记住、避开这些“陷阱”。所谓“陷阱”就是指这样一种状态：系统一旦进入这种状态，其可能性空间就永远停留在该状态，因而再也不能被选择了。例如在病人的可能性空间中，“死”这种状态就是一个陷阱，因为病人一旦进入死亡这种状态就不可能再向活的状态转化了。所以医生在治疗用药过程中，一定要注意避开这种危险。

3. 要注意记忆的有效性。在记忆控制中，记忆即经验都是和一定条件和环境联系在一起的，当条件或环境发生变化时，经验也就失效了。例如把电视机从一个房间搬到另一个房间，其天线的最佳收视角度也要改变（相对于机壳而言）；一种药对病人甲有效，但对病人乙就不一定有效了。在我国北方有“谷雨前后，种瓜点豆”的农谚，但在南方，该农谚就不适用了，等等。因此，我们要根据具体的控制对象做具体的分析，不能一味照搬过去或异地的成功经验。

三、共轭控制

所谓共轭控制就是指把对甲系统的控制经验应用于和甲系统具有相似性的乙系统的控制方法（轭：夹板之意）。例如，三国时曹冲称象的故事就是这样的。当时有一头大象，人们无法称出其重量，少年曹冲想了一个办法：先让大象站在船上，看看吃水线的位置在哪儿并做上记号，然后把大象拉下来，再给船装上石头，当吃水线达到原来位置时，这时船上石头的总重量就是大象的重量，然后再分别称石头重量就可以了。目前，在科学研究中普遍采用的动态模拟方法（智能模拟、风洞模拟、法庭模拟、军事演习等）也都可以看成是共轭控制方法。

共轭控制的原理是这样的：设计一个与 A 过程共轭的 $L^{-1}AL$ 过程，它通过 L 变换和 L^{-1} 变换，把我们原来不能控制的事物变为我们可以控制的 A 过程去完成，这样，A 的控制范围和能力在实施了 L 和 L^{-1} 变换后扩大了（图 4-7）。

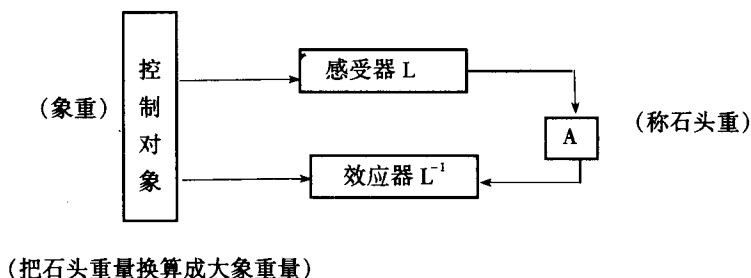
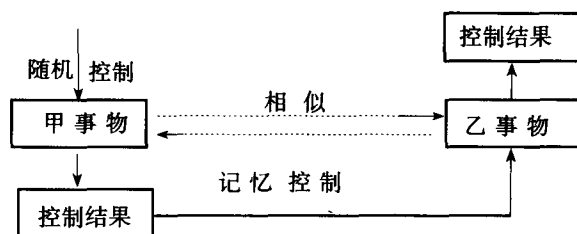


图 4-7 共轭控制模型图

共轭控制有三个特征：

1. 共轭控制必须以两个系统的相似为基础，如果两个系统根本不相似，则无法实行共轭控制。
2. 共轭控制过程实质上是一个推理过程或叫经验转移过程，因而可以放大人的控制能力（见图 4-8）。
3. 在运用中间媒介传递经验时，要注意中间媒介对经验的干扰。如果中间媒介在传递经验时，混入了干扰因素，使经验失真，那就无法再实施有效控制了。



图四 8 共轭控制推理过程示意图

共轭控制的应用是十分广泛的。人们使用生产工具（包括操纵机器）从事生产，统治阶级运用国家机器管理社会等都包括着共轭控制过程。在科学技术研究中，模拟方法作为一种共轭控制方法也常被使用，它主要是利用对模型的直接控制经验来指导并实现对原型的控制。如宇航员正式上天前都必经过严格的模拟训练才行，以便能在太空实际情况下，操纵机器进行工作。

四、反馈控制

施控系统先给受控系统输入一个控制力或控制信号，然后受控系统再返回一个表示运动结果的力或信号，施控系统再根据这个返回的力或信号调整控制力或信号，这就是反馈控制过程。简单地说，反馈控制也就是根据反馈信息或反馈力进行控制的过程。其中，根据反馈力进行的控制过程可称为刚性反馈控制。如前面讲的瓦特发明的离心式汽机调节器即属此类；而根据反馈信号进行的控制过程则称为信息反馈控制，如指挥官指挥打仗的过程则属于信息反馈控制过程，因为指挥官要随时根据战场情况报告调整部署。控制论中所说的反馈控制主要是指信息反馈控制。有关反馈控制的基本原理和形式，下一节还要讲到，这里不拟展开叙述。

五、程序控制

所谓程序控制就是使受控系统按给定的时间次序和运动方式而变化。例如现在的交通信号灯控制就是一种程序控制，红绿灯定时亮灭。此外如钟表控制、火车到发站控制、农民按季节种庄稼、工厂按工序生产、司法系统按程序审理案件、教师按计划授课、计算机按给定程序运算等等过程，都是程序控制过程。在采用程序控制的系统中，都有一个存储器来存储给定程序信息（在动植物中是遗传密码），然后受控系统才能按给定程序信息运动。

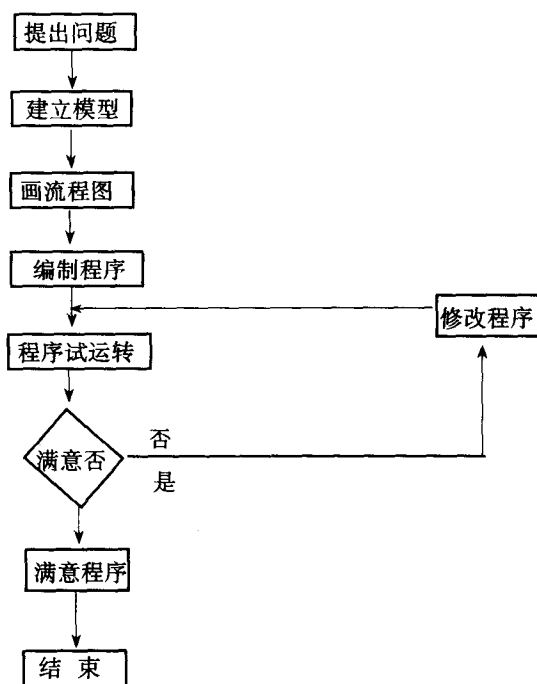
程序控制的基本特点是：

(一) 程序控制的关键是程序设计

程序设计得好，就可以顺利实施控制，程序设计不好，控制任务就很难完成。

搞程序设计的一般步骤有如下六点：

1. 根据实际情况提出问题，这个问题必须是程序控制所能解决的。
2. 建立模型。模型可以是数学的、表格的、框图的等等。
3. 列出解决问题的每一个步骤，并依此画出流程图。
4. 把流程图中的每一个步骤转换成程序指令，并编出程序。
5. 在程序控制模型上或实际控制系统中试运转程序，产生结果输出。
6. 分析运转结果，看是否能满意地解决程序控制问题。若不能解决问题，就需要修改程序，再输入运转，直至取得满意结果为止。图四 9 即为程序设计模型：



图四 9 程序设计模型

(二) 程序控制具有相对稳定性，在环境因素变化不大的情况下，是一种较理想、易操作的控制方法

例如，一定地区的农民只要按季节变化种庄稼就可以了，不必总调整耕种和收获时间；司法审判的程序也是基本固定的，易于为人们所把握；动植物生长也有一定程序（程序信息为遗传密码），把握了这一程序有利于我们根据自身的需要控制动植物的生长规律。

(三) 程序控制较死板，不能适应环境的变化

如现在交通路口的红绿灯显示多实行定时控制，因而不能根据各个方面的车辆多少而自行调整红绿灯显示时间；又如学校的冬季作息时间表到了夏天就不能再用了，夏季需要有夏季作息时间表。在实际工作中，有些人不顾情况变化而总按老程序办事，结果就不能不犯经验主义或教条主义错误。

六、随动控制

随动控制是比较高级的控制方式，其特点是施控系统能根据受控系统的运动状态而自动调整控制目标，所以又叫适应性控制或跟踪控制。例如，我们在看活动物体时，大脑控制眼球随目标运动而运动的过程即为随动控制过程。自动寻的导弹跟踪并击落飞机的过程也是随动过程。据 2003 年 8 月 4 日《科技日报》报道，以色列正在研制一种最先进的空空导弹——“巨蟒 5 号”，这种导弹在发射后，能每飞行一毫秒修正一次飞行方向，逐步锁定目标、靠近目标，其机动性超过任何飞机。该导弹的飞行控制过程便是一种随动控制过程。

随动控制的基本原理如下（图 4 10）：

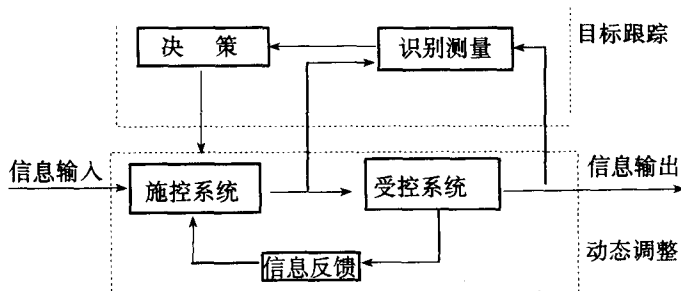


图 4 10 随动控制基本原理图

上述六种基本控制方式都不是孤立的，而是相互联系、相互渗透的，高级的控制方式包含着低级的控制方式，在复杂的控制过程中，又往往各种控制方式并用。

第四节 控制系统的基本属性

控制系统有一些基本属性，把握这些基本属性，有利于我们实施有效控制。

一、目的性

目的性是控制过程的基本属性。没有目的性，就谈不到控制。1943年，维纳、毕格罗、罗森勃吕特合写的第一本有关控制论的著作，其名称就是《行为、目的和目的论》。可以说，把生物学所特有的目的性概念赋予机器，这是控制论诞生的首要一步。

那么，什么是控制论中所讲的目的性呢？

施控系统能够在环境影响下使受控系统始终保持或趋向于设定状态的性质即为该控制系统的目的性，或者说，任何控制系统都具有使自身保持或趋向于一定状态的性质，这种性质就称为控制系统的目的性。显然，控制系统的目的性是由施控系统的目的性决定的。

例如，高等动物的体温调节系统能够克服体外温度变化（在一定范围内）和体内产生热量的干扰而始终把体温控制在一定水平，这就是一种目的性。

又如，水塔内的水位调节系统能够克服不规则用水的干扰而把水位始终保持一定高度，这也是一种目的性。

当然，中国共产党领导中国各族人民克服内外干扰而为实现社会主义现代化而奋斗，这更是一种目的性了。

一个控制系统的目的性不仅有质的规定，而且有量的规定。一个恒温系统的目的性不仅是保持容器内温度的恒定，而且这个恒定的温度是有一定数值范围的。一个学校的目的是为社会培养人才，但培养多少人才？这也有一定的数量界限。因此，我们在设计、管理一个控制系统时，要从质量统一上去考虑系统的目标。

在控制系统的目的性中，最完善的是人类的目的性，无论是个人还是集体，其运动都有一个自觉的目的，如共产党的目的是实现共产主义，等等。动物的目的是非自觉的，机械系统的目的则是人赋予的。

控制论中的目的性原理与唯心主义的目的论是有本质区别的。唯心主义目的论，实质上是一种神创论，它所讲的目的完全是一种主观的东西，是人的思想硬加给客观过程的。而控制论中所讲的目的性乃是指控制系统运动的某种客观状态，这种状态可以为施控系统所选择，但却不能为其所创造。

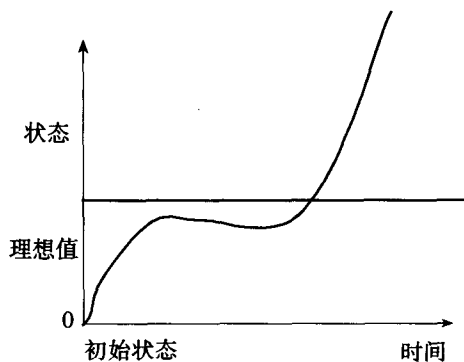
二、振荡性

实践表明，由于存在内部或外部的干扰，受控系统的运动状态往往会偏离理想状态（目标状态的平均值），这种情况叫做控制系统的振荡。例如，某一学生成绩的忽高忽低，某人情绪的忽好忽坏，收音机的声音忽大忽小等等，都是控制系统振荡的例子。

振荡通常有下面几种类型：

（一）单调发散（图四 11）

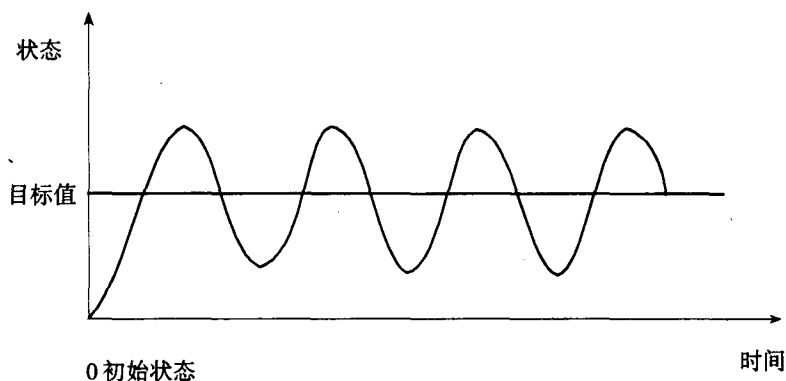
这种振荡的特点是，控制系统的运动状态刚一达到理想值随即又超过了，而且不再回复。如我们在洗淋浴时，先要调节冷热两个水管，水温从冷到热（或从热到冷），刚一达到合适温度，水又热（冷）的过头了，于是身体赶快躲开。水温的这种变化即可视为单调发散。此外如经济增长过热、物价失控等也属这种单调发散振荡。用图形表示列为：



图四 11 单调发散振荡

(二) 等幅振荡 (图四 12)

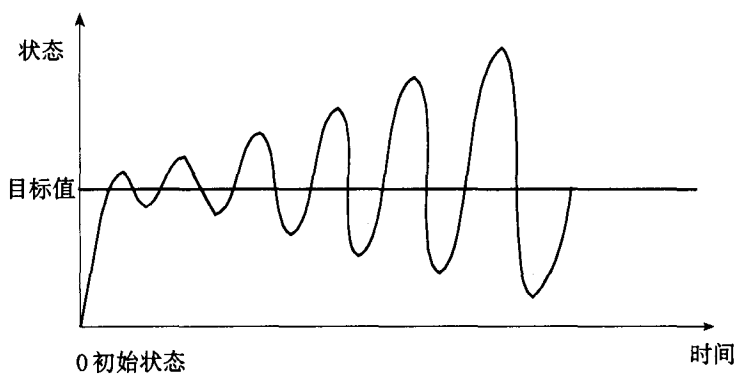
这种振荡的特点是：受控系统偏离理想值的幅度是相等的。如秋千的摆动、海水涨潮与落潮、商品价格围绕价值上下波动等，均属于等幅振荡。用图表示则为：



图四 12 等幅振荡

(三) 振荡发散 (图四 13)

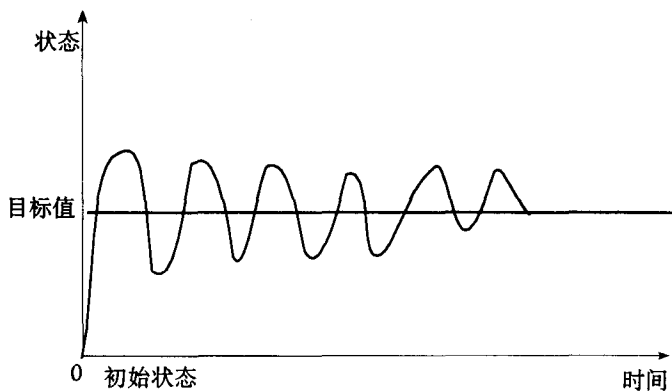
这种振荡的特点是，控制系统的运动状态与理想值的偏差幅度随时间的推移而增大。例如，将要倒下的陀螺以及地震时将要倒塌的房屋的运动形式，均可视为振荡发散；由于政治危机而导致国内局势愈来愈混乱，亦属振荡发散的形式。



图四 13 振荡发散

(四) 振荡衰减 (图四 14)

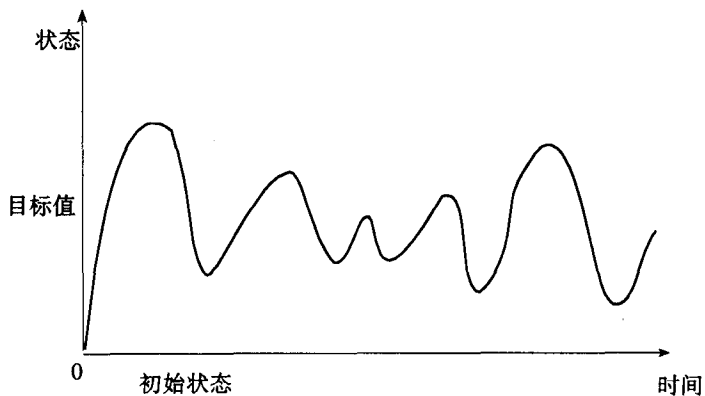
这种振荡的特点是控制系统的运动状态开始偏离理想值的幅度较大, 随着时间的推移, 其偏离度愈来愈小, 直至趋近或达到理想值。例如, 不倒翁的运动过程就是这样的, 在用天平称重物时, 天平横尺从上下摆动到稳定下来的过程亦如此。用图形表示则为:



图四 14 振荡衰减

(五) 综合振荡 (图四 15)

这种振荡的特点是, 在同一时间段中, 各种振荡形式都有, 并且随机出现。图形表示列为:



图四 15 综合振荡

应当指出，控制系统的振荡是绝对的、普遍的。人们无论采用什么办法或措施，都不能完全避免振荡，只是可以设法将其控制在一定范围（目标）内罢了。

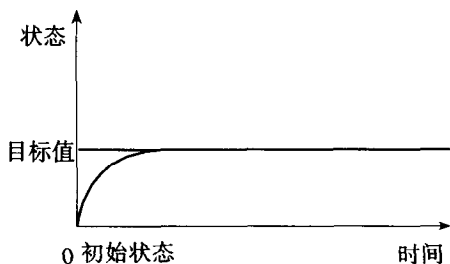
三、稳定性

所谓稳定性就是指控制系统在内外环境干扰下，其输出的状态值与理想值之间的偏差维持在允许值（目标值）范围内的性质。例如，火车尽管有左右摆动，但不脱离轨道，一个人的血压可以忽高忽低，但不引发生命危险，等等，这都属于稳定态。

（一）控制系统稳定的两种情况

由于控制系统的稳定与控制过程的目标选择有关，因而，目标特点就决定了稳定的两种类型：

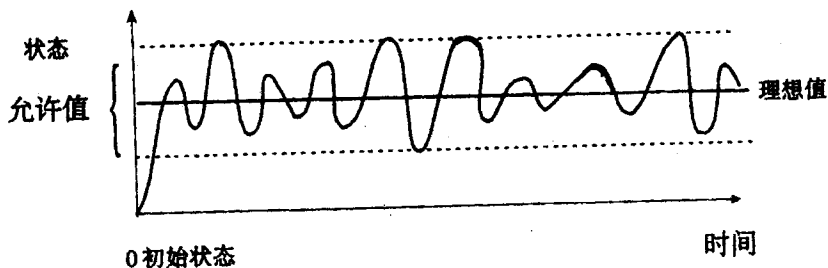
其一是线性稳定（绝对稳定）。即控制目标表现为一条不变的直线，而控制状态又与这一条线完全重合。用图形表示列为：（图四 16）



图四 16 线性稳定

例如，假定锅炉工能使锅炉里的水温始终保持 100°C 或供电局能始终把电压控制在 220V ，而无一点儿波动，那就属于线性稳定了。但实际上，这种稳定是不大可能出现的。因为随机干扰总会出现，并造成控制系统发生振荡。人们只能采取措施，使振荡幅度尽量减小，以至接近一条直线，即绝对稳定，而要做到这一点，施控系统就必须具备极高的控制能力，并要设法减少干扰因素才行。

其二是非线性稳定（相对稳定）。即控制目标是一个固定的区域，控制系统振荡不超过这一区域。用图形表示则为：（图四 17）。



图四 17 相对稳定

我们平时所说的稳定即指的这种稳定。例如，所谓物价稳定并不是指物价始终不变，而是指物价的波动不超过一定范围；一个人血压的稳定也不是指明其高低压始终维持在理想状态，而是指其变化不超过一定界限，如此等等。

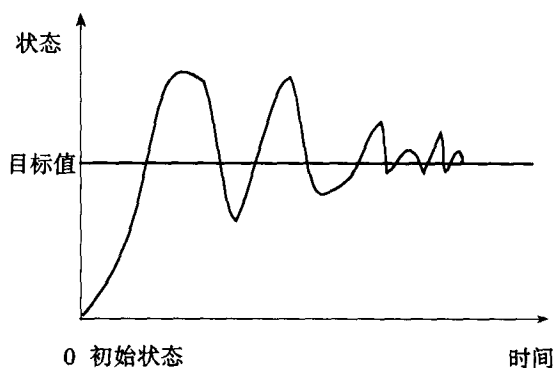
当然，由于人们对控制系统目标的要求是多种多样的，因而控制系统的稳定形态也各不相同。如我国把人口增长指标确定在百分之一以下，因而只要人口增长率未超过这一界限就被认为是稳定的，还有的国家把国民生产总值的增长率规定在某一水平之上，因而只要满足这一条件就被认为是稳定增长的，等等。但是，无论在何种情况下，稳定又都是相对的，不是绝对的。例如，轮船在航行过程中，由于海浪的推涌，总会有些摇晃，绝对平稳地行驶是不可能的，但只要这种摇晃不影响正常航行或不超过一般人所能忍受的程度，我们就说该船是比较平稳的；一个社会在发展过程中，由于内外干扰，也总会发生一些动荡，绝对稳定地前进是不可能的，但只要这种动荡不导致大的政治、经济危机，则该社会的发展也就可以认为是比较稳定的了；人的情绪也是如此：由于自然或社会的原因，每个人都有高涨时刻，也有低潮时刻，如果个人能够控制，不使其影响正常学习和工作，那也就算是情绪稳定的，但如果因一点小事就大闹一场，影响了工作，那就不能说是稳定的了。

（二）系统稳定的速度

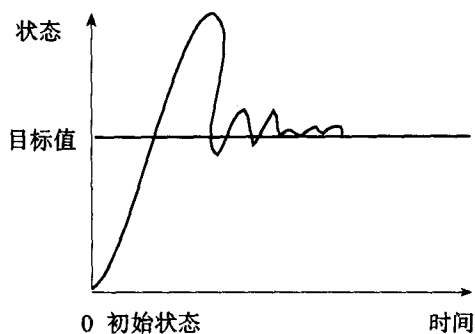
任何一个控制系统的运动都有一个从不稳定到稳定的过程，一开始就立即进入稳定状态是很难的。

但是，有的系统进入稳定态所需时间少些，有的系统进入稳定态的时间长些，这也就是系统稳定的速度问题。这也就是说，所谓系统稳定的速度即指在单位时间内，系统由非稳定态向稳定态接近的程度，试比较图四 18 和图四 19 的稳定速度：

显然，图四 19 的稳定速度要快于图四 18 的稳定速度。



图四 18 稳定速度示意图



图四 19 稳定速度示意图

事实表明，控制系统稳定的速度主要取决于施控系统的控制能力的强弱，控制能力强，受控系统很快就可趋于稳定，反之，经历的过程就要长些。如有些人在受到意外打击之后，精神上很长时间振作不起来，恢复不了常态，根本原因是自制力较低，当然，自制力再低，只要没有丧失，最后还是会稳定下来的，就像秋千总得停下来一样。

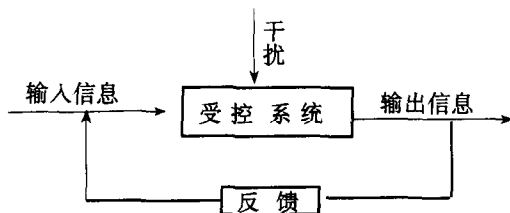
四、反馈性

反馈是控制论中最重要的原则，没有反馈，就不会有控制系统的稳定性，因而也就不会有控制。

(一) 什么是反馈 (Feedback)

馈即赠送之意，反馈即返送回来之意。

控制论中所说的反馈，概括起来讲，就是指输出信息对输入信息的反作用，用图表示则为（图四 20）：



图四 20 反馈原理示意图

例如，盲人走路过程，就是一个信息反馈过程：大脑指挥手拿手杖往前探路，这就是输入信息，手杖探路必有一个结果（或触到物体，或未触到物体）这就是输出信息，手杖探路的结果必然会返回至大脑（反馈信息），大脑再根据这一结果信息重新做出决断（调整输入信息）；或指挥手拿手杖继续前行，或指挥手拿手杖转弯行走，如无这一反馈过程，盲人是无法走路的。蝙蝠的飞行过程也离不开信息反馈过程：蝙蝠在飞行过程中会发出一种超声波，这种超声波遇到障碍物后会产生一个回波，蝙蝠接到回波以后立刻调整飞行方向，所以，蝙蝠尽管视力很差，但其仍能在建筑群或密林中飞行自如而不撞他物。

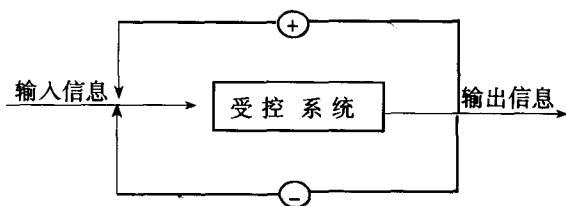
(二) 正反馈和负反馈

反馈过程又分为正反馈和负反馈两种形式。

关于这两种反馈，目前学术界尚存在不同表述。这里认为，正反馈即指输出信息对输入信息具有肯定或强化性质的反馈；而负反馈则是指输出信息对输入信息具有否定或削弱性质的反馈。如下图所示（图四 21）：

例如，一个农民由于采用某种种田方法，结果获得丰收，这个结果反过来又促使他进一步采用这种种田方法，这一反馈便为正反馈。凡是人们做某一件事获得了成功，从而加强了继续做这件事信心的，都属于正反馈的情况。

相反，如果一个农民采用某种种田方法遭到了失败，因而不敢再照原样干下去了，这种反馈则是负反馈。凡是人们做某一件事遭到了失败，因而导致修



图四 21 正负反馈示意图

改原来的想法和做法，都属于负反馈的情况。

在控制论中，正反馈的作用主要是用来强化系统的合目的性的运动，如收音机内的二次放大线路，经济领域内的良性循环等。负反馈的作用则主要是用来克服系统的偏离目标的运动，如冰箱内的温度调节器就是根据负反馈原理进行工作的；当箱内温度升高超过一定值，电路接通，压缩机开始工作，使温度下降；当温度下降超过一定值，电路又会断开，使温度停止下降。冰箱就是这样通过负反馈的不断调节来保持箱内温度恒定的。

现在，人们已经在生物学、医学、经济管理、社会管理等方面越来越自觉地应用反馈方法，取得了显著成效。

(三) 前馈和退馈

除了正反馈和负反馈以外，在 70 年代以后的控制理论中，还出现了前馈和退馈两个概念。

什么是前馈 (Feed - forward)?

我们知道，控制论系统主要是根据信息反馈进行控制的（见第 4 节），但是一个信息从输出端反馈到输入端要经历一个时间过程，这样就必然会使控制行为（调节）发生在实际结果出现之后，从而造成“马后炮”的局面。

例如，一项政策推行下去了，遭到了严重失败才开始纠正；有的小孩发生了一点小毛病，家长不以为然，待到后来犯了法，家长才想起管教，我们可以称这两种情况为反馈滞后。

所谓前馈控制就是指尽量获得充足时间来提取预测信息，使受控系统在发生偏差之前就注意纠正偏差的控制方法。简言之，前馈控制即依据预测信息来调整输入信息的控制方法。

利用前馈进行控制的思想，早在古代就已经萌芽了。据《史记·货殖列传》记载，春秋时期著名的政治家兼商人范蠡就曾提出过根据市场预测来制

定经营策略的思想。如他讲“贵上极则反贱，贱下极则反贵”，这就是说，某种商品一旦贵到极点，价钱一定会掉下来；反之，如果贱到了极点，其价钱又会回升，因此，他主张“贵出如粪土，贱取如珠玉”。此外，他还提出过“水则资车，旱则资舟”，“夏则资裘，冬则资絺”等主张，意思是涝年头要准备做小车的买卖，因为水灾之后小车将成为短缺的急用品，价格将上涨；天旱时要准备好经营舟船，因为久旱之后，必跟着大涝。夏天要准备好冬天用的皮货，而冬天则要储存好织布用的葛麻，等等。

前馈控制对于现代社会来讲十分重要，因为现代社会中各种组织的规模都比较大，在激烈竞争的环境中，如不注意根据预测信息来制定行动策略，便会招致严重损失。也正因为如此，目前各国都在加紧研究未来社会的发展趋势，并据此调整自己目前的发展策略，否则，即便是今天的发达国家，也会在未来落伍。

什么是退馈（Pullback）呢？

所谓退馈，就是指作为施控者的人只有从控制系统中退身出来，才能从整体上发现受控系统的输出值与目标值间的差距，并对信息输入进行调整的控制方法。简单地说，根据外部观察信息对系统进行控制的方法即退馈控制法。

实践表明，在人直接参与的控制系统中，信息输出的情况，特别是信息输出值与目标值间的差别是不大容易看出来的，因此，调整信息输入也就有困难。在这种情况下，一个有效的办法就是先从控制系统走出来，从系统外面看一看输出情况，然后再回到控制系统中对输入进行调整。

例如打靶，一枪响过，是否击中靶心？不得而知，这时就需要射手走过去（假如没有别人）看看弹着点的情况，然后再调整射击角度进行射击。在社会生活中，常有这样的情况：我们陷入到一件复杂的工作中去了，一时找不着出路，这时，我们不妨从这件工作中走出来，从外部对它进行一下考察，往往会找到解决问题的关键。诚如宋代大诗人苏轼所说的：

横看成岭侧成峰，远近高低各不同，不认庐山真面目，只缘身在此山中。

五、趋优性

所谓趋优性，就是指随着时间的推移，施控系统能在有限资源的情况下使受控系统的状态越来越接近理想目标的性质。控制系统的趋优性可以从两方面来描述：

1. 在控制状态不变的情况下，所用资源越来越少。如汽车司机在保持车速不变的情况下，百公里耗油量越少越优；农民在保证丰产的情况下，所投入人力、物力愈少愈好。

2. 在资源不变的情况下, 控制状态越来越理想。例如, 汽车司机用一定量的汽油所跑的路程越来越长, 一个企业管理者用一定的人力、物力将企业管理得越来越好, 等等。

控制系统的趋优性与下述因素有关:

1. 与施控系统的经验有关。随着时间的推移, 施控系统的经验会越来越丰富, 因而也就能获得越来越佳的控制效果。例如, 运动员练习某一动作的次数越多, 其对自己身体姿势也就控制得越好; 越是多年的老司机, 其把汽车开得越稳, 等等。

2. 与控制系统的要素、结构和环境的不断优化有关。一般而言, 在控制系统运行的过程中, 各种控制要素会不断更新, 结构也会不断优化, 与环境的关系也会日益协调, 因而, 控制效果也会越来越好。例如, 农民种地就要不断选种和更新生产工具, 调整种植结构, 因地因时进行生产管理, 从而获得越好的农业收成; 政府调控经济也要不断更新调控手段, 改善调控方式, 优化调控环境, 从而获得越来越好的调控效果。

第五节 控制过程

学习控制论知识, 根本目的是要以其为指导去控制各种事物, 以满足自己的需要, 因而把握控制过程的基本步骤是非常重要的。

一、控制过程的基本步骤

(一) 了解受控对象(事物)的多种可能运动状态

前已指出, 控制过程的实质是施控系统在受控系统的多种可能状态中进行选择的过程, 因而, 我们要想有效地控制一个对象, 就必须通过调查研究, 把握其与施控系统利益有关的多种可能的运动状态。例如, 甲方与乙方的一次商业谈判, 有可能成功, 也有可能失败, 这两种可能都要把握; 一次势均力敌的足球赛对任何一方来说都有三种可能: 胜利、失败、踢平, 对此要有充分认识; 民主革命时期, 毛主席有一次命令刘邓大军挺进大别山时, 对其执行命令的结果也设想了三种可能: 挺得进去、挺不进去、挺进去又被迫走出来。总之, 事物发展可能性是多种多样的, 对此, 我们应尽可能全面加以认识和把握。

（二）确定控制目标

所谓确定控制目标，其实就是在受控系统的多种可能的运动状态中进行选择的过程。例如一次谈判结果，可能成功，也可能失败，我们选择成功状态，也就是确定目标了。在确定控制目标时要注意两方面情况：

1. 要根据自己的需要来确定。例如，我们洗澡时调节水温要根据每个人的需要；电冰箱的温度定在什么范围也要符合自己的要求（急冻？缓冻？），一个国家的军队数量也要根据实际需要来定，等等。

2. 要考虑施控者的能力条件。即在自己的能力范围内选择控制目标，否则，目标实现不了。例如，一所高校的最大招生能力是年均 2000 人，如果确定 3000 人的招生目标，势必造成混乱。

（三）制定控制方案

所谓制定控制方案主要指采用什么控制方式实现控制目标。这一步是关键：控制方案制定得好，就能顺利实施控制目标，否则，控制目标难以实现。在制定控制方案时，应注意三个方面问题：

1. 综合性。尽量避免单打一。如政府在调控经济时，要行政、法律、经济手段并用；中国共产党领导人民治理国家也不能只用“法治”一条，而要“法治”与“德治”并济。

2. 可行性分析。尤其要对各个控制方案的可靠性和稳定性进行分析。

3. 优化选择。即在各种可行性控制方案中，找出一个最佳方案，以提高控制效率。

例如，据 2002 年 8 月 15 日《福州晚报》报道：科学家们早在研究“驯服”台风的办法。目前提出的办法主要有三种，即“釜底抽薪”法、“拦路打劫”法以及降低气压法。其中降低气压法和“拦路打劫”法看来是比较可行的方案。降低气压法是播撒大剂量的人工冰核（碘化银榴弹），通过冷水冻结释放潜热，降低气压差，使风速减小；“拦路打劫”法则是通过播云等特殊方法，将水汽和能量从台风核心区抽走，这种方法的副作用最小。

（四）实施控制

即采取措施，贯彻某一施控方案的过程。例如，目前中国共产党领导人民贯彻全面建设小康社会规划的过程，学校教务部门贯彻教学计划的过程等等，都是实施控制的过程。

(五) 收集并处理反馈信息

在对某一具体对象实施控制的过程中,受控系统必然显现出多种运动状态,这些状态有些是符合控制目标的,有些则是不符合控制目标的。为了有效实施控制,就必须采取一定手段将这些状态作为反馈信息加以收集和处理。例如,一艘轮船在航行中偏离目标了,偏离多少度?偏离方向是什么?又如某单位领导在执行政策的过程中,出现了偏差,偏差的幅度有多大?造成了什么后果?对此,施控系统都必须及时加以收集和处理。

(六) 调整控制状态(校正目标)

收集、处理反馈信息的目的是为了调整控制系统的运动状态,使其按目标运动。例如,控制人员发现航船往左偏离航线了,就要往右转舵,发现往右偏了,又要往左转舵;发现速度慢了,要加油开得快一点儿,太快了,又要减油开得慢一点儿,如此等等。

上面就是控制方法的基本内容。

应当指出,在控制系统实际运行过程中,这种反馈调节(包括正负反馈和前馈和退馈)行为是贯彻始终的,离开反馈调节的控制过程属于开环控制,这种控制方式很难达到既定目标。

二、失控及其预防

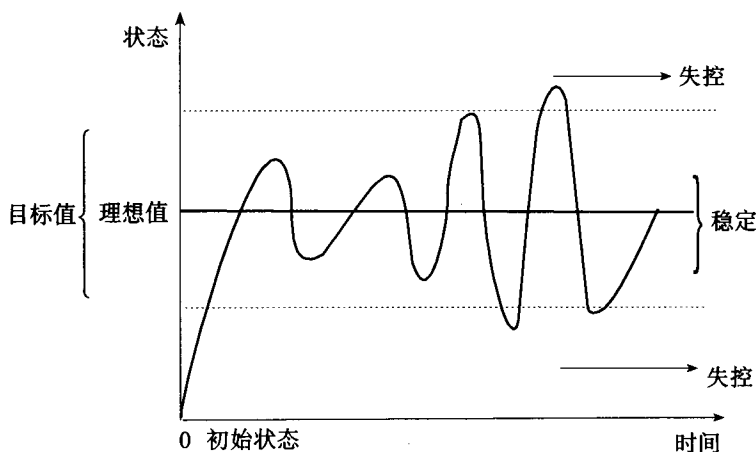
(一) 失控概念

受控系统脱离施控系统的目标而运动,谓之失控。例如,骑车人捏闸的目的是要使自行车停下来,如因闸皮损坏而捏闸后自行车仍往前走,这种情况就是失控。可见,衡量一个系统的运动过程是处在受控态还是失控态,关键看其是否脱离了施控系统的目标。如果没有脱离目标,即使行为失败也不能叫失控,而只能归结为原定的目标不正确。

应当指出,人们在实践过程中发生失控的现象是常有的,如物价失控、人口失控、舆论失控、矿山开采失控、产品质量失控、航天器失控等等,而每次失控都会给人们带来一定损失。作者见过这样一个报道:2001年5月15日,一列有47节车厢的货运火车正在美俄亥俄州托利多市附近一站点检修。谁知,火车突然开始滑动,然后逐渐加速,一段时间时速达到72公里。火车沿途穿过俄洲的城市、村镇、原野。除了近一半车厢装有木材和纸张外,还有两节装运的是有毒工业用硫酸。当地警察迅速赶到列车即将通过的路口,将路口提前

清空。铁路专家们派出另外一辆火车跟踪在出事货车背后，这一火车随后成功地和货车挂在一起，从而降低了货车的速度。当货车减慢到时速 15 公里时，一个驾驶员跳上车头，迅速拉下闸门，终于制伏了这匹“脱缰的野马”，而这时的火车已自动行驶了 100 公里。

失控与振荡既有联系又有区别。失控也是一种振荡，但却是超出了目标值的振荡；振荡并不都属于失控，如果在目标值范围内的振荡则属于稳定范畴。



图四 22 控制系统失控模型图

用图形表示列为：（图四 22）。例如，人的白血球在 5000 ~ 10000 内为正常值（稳定），如果超过了 10000 或低于 5000 则属于病态（失控）。

（二）失控原因及预防

控制系统失控的原因很多，防止失控的手段也多种多样，但归结起来，主要有四个方面：

1. 失控现象与环境因素对控制过程的干扰有关。受控系统的运动状态主要受施控系统控制行为的制约，但也受外界干扰因素的影响。当这种干扰作用小于施控系统的控制作用时，系统处于受控状态，而一旦这种干扰作用大于施控系统的控制作用，则原受控系统的运动状态就会偏离目标，如轮船因强风作用而偏离航线、国内政局因外来作用而导致动荡等就是例子。因此，要防止出现失控局面，首先应选择好的系统环境以避开干扰。例如，轮船要选择在无暴风天气里航行，航天飞机要选择在天气晴好的条件下发射，社会主义建设要在国际和平条件下加紧进行等等。有时，自然环境无法选择，还可以设法创

造人工环境以保证控制系统的稳定状态，如电子计算机的机房就是人造环境（恒温、恒湿等），夏季在办公室内安放电扇吹风也是创造一个凉快的环境，以保证办公人员正常工作。其次是设置壁垒，阻止干扰。有时，控制系统的工作环境无法选择，人工环境又无力创造，在这种情况下就可以采取设置壁垒、阻止干扰的办法。例如，航天飞机在起飞或降落过程中，由于与空气摩擦，外部会产生数千度高温，为避免航天飞机被烧坏，飞机外壳上都要设置隔热层（由隔热瓦构成），阻止热能传入。在社会领域，一些政府为了保护本国经济的正常发展而采取的关税壁垒政策也是一种抗干扰措施。

2. 失控现象与施控系统控制能力的欠缺或削弱有关。施控系统的一定控制能力是保障控制过程实现的基本条件之一，这种控制能力如果不健全，或随时间的推移而削弱，则受控系统的运动就有脱离目标的危险。如汽车司机在酒后或极度疲劳时驾驶汽车，其控制能力就会降低而易出事故。因此，欲有效地防止出现失控局面，还必须努力提高并保持施控系统的控制能力。有时，单施控系统不能保障整个控制过程的成功，就需要设置双施控系统甚至多施控系统，这样做的好处是，当一个施控系统丧失施控能力时，另一个施控系统可以继续实施控制，以保证控制效果。例如在航天飞机上一般都设有双施控系统（人+自动驾驶仪），火车上“黑匣子”有时也能起到与司机一样的施控作用。据报纸报道：有一次，北京到广州的旅客列车正在京广线上运行，一名歹徒持枪闯入司机室，枪杀了司机，意在制造车毁人亡的严重事故。当列车高速接近前方车站时，在无人驾驶的情况下，火车上的“黑匣子”发挥了作用，使失控的列车自动停车，1000多名旅客的人身安全得到了保障。

3. 失控现象还与控制途径的中断有关。施控系统对受控系统的控制是有一定途径的，如司机主要通过齿轮系统和供油系统来控制汽车行进速度的，而无人驾驶飞机的控制则主要通过信息传递系统进行。如果由于某种原因而导致控制途径中断（如齿轮系统或信息传递系统损坏），则受控系统的运动也就会出现失控局面了。（如据报道：1992年3月4日夜，我国西北军事重镇兰州的中川机场电话线被剪断了，导致机场与正在天上飞行的飞机通信中断，机场被迫关闭11小时，直接影响了四架国际航班和11架国内航班的正常运行。）因此，欲有效地防止失控，还必须努力保持施控系统和受控系统的联系通道，使其不致受损中断。为此，技术家们也往往采取设置多种控制途径的办法加以解决。例如，在汽车中控制静止状态的机构既有脚闸，又有手闸；政府控制经济的手段既有行政方面的，也有法律方面的，还有金融方面的；为了保证考试秩序，设置AB试卷等。这样做，可以保证在一种控制手段失效时，立即采取另一种手段进行控制。

4. 失控现象还与受控系统自身结构损坏有关。如轨道上的卫星信息接收系统失灵,就会失去地面人员的控制,各种车辆的闸系统损坏后,也会导致失控局面。因此,欲有效地防止失控,还必须注意保持受控系统的良好结构和功能,必要时应进行更新。据1998年12月5日《羊城晚报》报道:12月4日上午,韩国仁川市附近的一个空军基地内,官兵们正在进行例行训练。正当训练快要结束时,意外发生了:10时36分,一枚处于待发状态的“胜利女神”号防空导弹突然从基地腾空而起,直插天空,并很快找到目标,径直向仁川市区飞去,情况万分危急,军方经过紧张讨论,决定立即引爆这枚导弹,结果该导弹在离地面500米左右的高度爆炸,导弹碎片击中几十辆汽车并砸伤数名行人,还引起一场大火。事后,空军有关官员解释说,该枚导弹误发的原因是发射装置的线路出了问题,这种导弹服役年限已达34年之久。

实践表明,人类社会生活的一切方面都是离不开控制的。如搞社会生产就需要对人力、物力、财力的使用以及生产的规模、速度、结构及整个过程进行控制,一旦失控,就会造成社会经济秩序混乱,阻碍生产的正常发展。搞社会改革,也需要对改革的内容、范围、步骤、进程等进行控制,一旦失控,就会造成整个社会的动乱,使人民生活受到损失。科学家搞实验更离不开控制,所谓实验就是指“人们根据研究的目的,利用科学仪器、设备、人为地控制或模拟自然现象,排除干扰,突出主要因素,在有利的条件下去研究自然规律。”^{〔1〕}一旦失去对实验条件的控制,实验结果的可靠性也就降低了。总之,人类社会实践活动的一切方面都是贯穿着控制过程的。人们只有善于控制世界,才能卓有成效地改造世界,没有控制世界的能力,人类就无法生存。

第六节 控制论的研究方法

控制论不仅是人类控制世界的一种方法,而且是人类认识世界的一种方法。这种认识方法的手段是功能模拟,而认识对象则是黑箱、灰箱和白箱。

一、什么是功能模拟方法

(一) 什么是模拟

所谓模拟即指根据原型来制造或组织模型,使模型与原型之间具有相似特

〔1〕《自然辩证法讲义》,人民教育出版社出版1979年版,第246页。

征的过程。例如，模拟法庭是对实际法庭的模拟，军事演习是对实战的模拟，电脑是对人脑的模拟，等等。

传统模拟有两种基本类型：

1. 实物模拟。即用实物模型来模拟原型。如各种原子实物模型、天体实物模型、建筑物模型以及模拟法庭等都可称为实物模拟。

2. 抽象模拟。即用物理或数学模型对原型进行模拟。例如申农通信模型图、控制论系统模型图等均属物理模拟用的抽象模型，用数学公式模拟三角形三个边的关系（ $a^2 + b^2 = c^2$ ）以及用图表把国民经济的增长趋势展示出来，则属于数学抽象模拟。

20 世纪末期，在抽象模拟的基础上又发展起一种新的模拟技术——虚拟。所谓虚拟，即在计算机屏幕上用三维图像把现实或理想中的事物模拟出来，电子游戏机便可看作是一种简单的虚拟技术的产物。目前，虚拟技术在国内外都已获广泛应用。例如，英国科学家研制出的一种虚拟心脏系统，可以使医生在屏幕上清楚地看出心脏如何跳动，以及病人吃了治疗心脏病的药之后，药物对心脏的作用过程。通过这一系统可以开发出各种新药。国外还有人用虚拟技术研究植树造林的成果。现实生活中植树造林结果要用几十年才能看出来，但在计算机上几分钟就可显示出来了，然后就可以根据这一模拟结果修改植树造林计划。另据 2003 年 3 月 9 日《科技日报》报道：我国首都医科大学与中国科学院计算所、第一军医大学、华中科技大学三单位联合攻关，用电脑合成了我国首个数字化女虚拟人。据说这个女虚拟人不仅看上去像人，而且行为举止也像人。这种利用计算机重构技术建造的虚拟人体，能以三维形式提供人体数千个解剖结构的大小、形状、位置及器官间的相互空间关系，对给未来医生提供最具真实感的训练机会和提高人类整体医疗水平具有重要意义。此外，虚拟技术还可用于搞工程实验（如大江截流虚拟实验）以制定计划、模拟战争以制定战略战术等等。

（二）什么是功能模拟

所谓功能模拟即以研究原型客体功能特性为对象的一种模拟，它要求模型与原型之间具有功能的相似性。如古代的风筝、近代的飞艇、现代的飞机都可看成是对鸟类飞行功能的模拟，人造器官的工作过程是对人的肉体器官功能的模拟，电脑处理信息的过程是对人脑思维过程的模拟，等等。

功能模拟是控制论研究的重要对象，同时其成果又对人们认识世界和改造世界起着巨大推动作用。例如，现在各种人造感官（电子眼、电子耳、电子鼻、电子舌、电子皮等）就是应用功能模拟方法研制出来的，其极大加强了

人类对客观世界的认识能力；具有在高压、高真空、深海水下、有毒环境中工作能力的机器人也是应用功能模拟方法研制出来的，它则极大地扩展了人类改造客观世界的能力。

二、黑箱——灰箱——白箱方法

这是控制论揭示的重要认识方法，它以信息手段为基础，通过分析输入与输出的对应关系来揭示认识对象的结构，是控制论对哲学认识论的重大贡献。

（一）黑箱方法

如果有一个认识对象，我们只知其外部功能而对其内部结构或机理完全不清楚，在控制论中就把这个认识对象称之为“黑箱”（Black - Box），^{〔1〕}简言之，内部结构不清楚的认识对象即为黑箱。

例如，目前人们对宇宙中很多天体的内部结构是不清楚的，我们就说，这些天体对于今天的人们来讲还是一些黑箱。又如，对于我们不了解其内部结构的复杂机器，不了解其内部情况的保密单位，以及不了解其内部配方的化学药品或食品等也都可以称之为黑箱。由于人们对客观事物的认识过程总是一个由不知到知的过程，因而作为认识对象的黑箱对于人们是永远存在的，这正如英国生理学家艾什比（W·R·Ashby）在《控制论导论》中所讲：“所有事物实质上都是‘黑箱’，我们从小到大，一辈子都在跟‘黑箱’打交道”。

所谓黑箱方法，简单地说，就是通过分析未知系统输入和输出的对应关系来认识其内部结构并加以控制的方法。它具体可分为如下四个步骤：

1. 确认黑箱。即采用相对孤立的办法，把黑箱从环境中划分出来，并找出其外部特征。

例如，我们在医院里做全面身体检查时，实际上是把身体做为黑箱来对待的。这之前，一般都要求我们早晨不要吃饭，也就是暂时中断与环境的联系（相对中断），而且要把我们每一个人的性别、年龄等特征确定下来。否则，检查结果就不准确或无意义（年轻人与老年人、男人与女人健康指标不一样）。

又如，我们在进行考试时，也是把每一个同学掌握知识的情况作为黑箱来对待的。为了考出真实情况，我们必须把每个考生孤立起来，防止其交头接耳、相互抄袭。否则，了解的情况就不会准确。

2. 确定输入与输出。也就是先确定一下给黑箱输入的内容，例如是输入

〔1〕 有的著作中也译为“暗匣”或“闭盒”。

一定物质？还是一定能量？还是一定信息？然后再确定一下所要观察的输出对象，例如是观察其输出物质的情况？还是观察其输出能量的情况？还是观察其输出信息的情况？还是全面观察其情况？等等。

例如，某地新建成一座工厂，施工质量如何？不知道。所以亦可把它作为一个黑箱来对待。给它输入原材料，观察其输出的产品，如果产品合格，那就说明施工质量是好的。

另据笔者所知，精神病院的医生在给精神病患者看病时，往往采取问话、答话的方式来进行。因为一个真正的精神病患者是不可能理智地回答医生问题的，医生根据精神病人回答问题的情况，就可以得知其病情如何。

3. 找出输入与输出的关系，并建立模型。一般来讲，给黑箱一个确定的输入，它就会有一个确定的输出，若给黑箱一系列输入（或不同种类或同一种类），它就会有一系列输出。通过分析每一对输入与输出的关系，然后进行综合，就可以得出规律性的认识（图四 23）。

时 间	输 入	输 出
T_0	A0	B0
T_1	A1	B1
T_2	A2	B2
T_3	A3	B3
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

图四 23 输入输出关系表

根据上表，就可以列出函数式（建立数学模型）或画出动态曲线等。

4. 推导出黑箱的内部联系。对黑箱各种输入与输出的关系搞清了，我们就可以进而推测出其内部联系了。

例如，打仗时，甲方为了摸清乙方的火力部署情况（黑箱），往往采用火力侦察的办法：甲方出其不意地以密集火力向乙方阵地射击（制造向乙方冲锋的假象），乙方不知是计，各个隐藏的火力点一齐射击，结果乙方阵地的火力部署全暴露给甲方侦察者了。

又如，教师为了检查学生掌握知识的情况（黑箱），可以连续搞几次考试（给学生输入信息，学生答卷是输出信息），然后分析学生答题情况，便可知道学生对所学知识的掌握程度。目前对少年儿童普遍采用的智商测定法实际上也是应用了黑箱方法。

上面四点，即黑箱方法的大致步骤。

黑箱方法的应用是十分广泛的。如在工农业生产中用地震法勘探矿藏，用超声波探伤；在社会生活实践中，用问卷调查法了解社情；在科研活动中，用雷达法探测地下文物，用心电图机测试心脏状况，用投入——产出法研究国民经济，用考试法了解人才的知识结构，等等，这都是对黑箱方法的成功运用。

总之，黑箱方法为人们提供了一种崭新的认识论方法，有人甚至说它是对科学方法论的一次突破，这不算夸张。当然，黑箱方法也有自己的局限性，这也要承认。首先，对于某些异构同功的系统，应用黑箱方法就很难搞清其内部结构差别了。例如有两个品种不同的西瓜，用手敲一敲，响声都一样，但内部却一个生，一个熟，在这种情况下，黑箱方法就失效了。其次，黑箱方法也难以排除或确定黑箱内部的干扰作用，例如，一个学生在考试时发烧了，或犯了头疼病，他的答卷就不能反映其真实水平了。最后，黑箱方法不是通过打开黑箱来研究的，其结论是通过分析输入与输出的关系得出来的，因而带有预测的性质，且难以通过打开黑箱进行直接检验。如科学家们运用人造地震法推测出地球核心部位是固态，但究竟如何？这是无法打开地球来检验的，而只能通过其他方法间接地证实。正因为黑箱方法有上述局限性，所以，我们既要大胆地应用它来认识事物，同时又要对其认识结果持谨慎态度。

（二）灰箱方法

如果有一个认识对象，我们对其内部结构有了一定程度的了解，但又不完全清楚，我们就说这个认识对象是个“灰箱”。^{〔1〕}简言之，内部结构不完全清楚的认识对象称为灰箱。灰箱的未知程度叫“灰度”，不同的灰箱，其灰度是不同的。

由于人们对客观事物的认识都处在过程中，往往是认识了一部分，其他部分尚未认识，因而，人们日常生活中接触到的事物绝大多数是“灰箱”。

例如，太阳系最外面的一颗行星——冥王星对于目前的科学家来说就是一个灰箱：该行星自1930年被发现后，人们已知其直径只有月球的2/3，自转周期为6.39天，1976年发现这颗行星上有甲烷，1978年又发现它有一颗卫星，1989年又发现其上面有稀薄的大气层，1993年又发现其有固态的二氧化碳和固态氮，然而，冥王星的内部结构如何？其大气层中各种物质的比例如何？人们又还不得而知，所以说它尚是一个灰箱，而且灰色度比较高。又如电子表对于多数消费者来说恐怕也是灰箱，因为多数人都知其大概结构和工作机制，至少知其内部有电池；但又不完全了解其结构，不知道它是如何走动的。

〔1〕 控制论学者艾什比曾将灰箱称之为“部分可察黑箱”。

所谓灰箱方法,即运用已有的知识,结合黑箱方法去推测系统内部结构特征的认识方法。因为对于灰箱来讲,其内部情况并非是一无所知的,而是了解一部分,只是另一部分不清楚。这样,我们就没有必要采用黑箱方法去揭示其秘密,而应当充分利用已有的知识去科学地推测其未知部分。还可以运用已有的知识去印证通过黑箱方法得到的认识,以总结出规律性的东西,增加黑箱方法的可靠性。灰箱方法的基本步骤有三:其一,根据已知部分推测其未知部分;其二,应用黑箱方法认识未知部分;其三,将上述两步认识结果加以综合,得出对整个灰箱结构的认识。

例如,根据《飞行记录器》^[1](又叫“黑匣子”)来研究飞机失事过程的方法即可视为灰箱方法。因为飞行记录器内的参数是已知的,而飞机失事的具体过程又是未知的,专家通过对飞行记录器内的数据分析即可知道该飞机的具体失事原因和过程。又如根据恐龙的部分骨骼化石塑出整个恐龙的骨骼结构亦可看作是灰箱方法。

由于人们日常接触的认识对象绝大多数是灰箱,只是其灰灰色度不同罢了,所以灰箱方法近年很受重视。1982年,我国学者邓聚龙教授提出了灰色系统理论,受到了国内外学术界的高度重视。钱学森指出:“灰色系统很有意义,值得注意,今后还会有更大的发展。”

灰色系统理论主要包括七个方面的内容:

1. 灰度研究;
2. 关联空间理论;
3. 生成理论;
4. 建模理论;
5. 预测理论;
6. 决策理论;
7. 控制理论。

由于上述理论均涉及较深数学内容,这里不作介绍。

灰色系统理论创立后,很快在实践应用方面获得了成果。如邓聚龙本人所搞的大范围区域性粮食预测,精度达到很高的指标,符合客观规律;在生态科学中,灰色系统的应用也为我国争得了很高的荣誉,如据1987年5月16日《中国青年报》报道,大学生李百炼把灰色系统理论应用于生态科学研究,举

[1] 飞行记录器由两部分构成:一个是无线电话记录器,可以记录飞机与地面及机上人员之间的对话及驾驶舱内的所有声音,最大录音容量是30分钟,录完后再从头开始录音。另一个记录仪器可记录16—32种参数,如油压、航速、驾驶员动作反应时间等,记录时限为25小时。

世瞩目，美国还特别邀请他去作“博士后”研究生。在我国首建的大型引黄（河）灌溉工程中，灰色系统理论亦发挥了重要作用，使地下水位平均降低了二十厘米，减轻了土地的盐碱化，使每公顷农田平均增产 1050 公斤。目前，灰色系统理论在社会、经济、管理、农业、医学、生态、环境、天文、地质、气象、水利、应用数学、未来学、系统工程等领域的预测、决策、规划等方面都已获得广泛的应用，为我国的社会主义现代化建设做出了重要贡献。

（三）白箱方法

如果一个认识对象，我们将其内部结构完全搞清楚了，那么，我们就说这个认识对象是一个“白箱”。简言之，内部结构完全清楚的认识对象称为白箱。例如，我们每个人对自己钢笔的内部结构，对自己提包内的物品，对自己熟知的文章结构等等都是了如指掌的，所以，这些物品或事物对我们来讲可称为白箱。

所谓白箱方法，就是指把对白箱系统内部的认识用一定关系式或模型表达出来，并进一步预测其变化规律及对系统功能影响的方法。白箱方法的特点是具有已知性和更大的预测性。

例如，对我国今后经济发展前景的预测就可以运用白箱方法，即根据现在的社会经济状况去推测今后社会经济的发展。天气预报也可以说是在运用白箱方法，因为在做出预报以前，各种天气情况数据基本都是知道的。

总而言之，黑箱方法、灰箱方法、白箱方法都是认识系统结构的重要方法，只不过认识的已知条件不同罢了，我们在具体应用这三种方法认识事物时，应将其有机结合起来。科学的任务之一，就是把人类认识对象从黑箱变成灰箱再变成白箱，即达到对事物内部结构的完全认识，而搞清了系统的内部结构及其变化规律，便可以进而搞清系统的外部功能及其他很多特性，并指导人们去更有效地认识、控制和改造客观世界。

第五章 自组织系统方法

无论自然界，还是人类社会，抑或人类思维都存在着自发组织起来的现象，诸如由无序的原始星云形成有一定结构的恒星系，由死寂的无机界产生出鲜活的生命，由生存竞争的生物界诞生出有特殊秩序的人类社会，由混乱的社会状态（天下大乱）走向统一有序的社会状态（天下大治），由杂乱无章的想法到形成一定的观点体系……都是一种自组织过程。那么，这种自组织过程是如何形成的？其内在机制是什么？它又遵循着什么样的规律？自组织系统理论就是以这些问题为研究对象的一种理论。一般认为，自组织系统理论包括四部分：一是耗散结构理论（Dissipative Structure）；二是协同学（Synergetics）；三是超循环学说（Hypercycle）；四是突变论（Catastrophe Theory）。其中，突变论、耗散结构论和协同学又被某些人称为“新三论”或 CDS 理论。

自组织系统理论目前还很不完善，没有形成一个统一的理论体系，它也还不足以彻底揭示自组织系统形成的机制，加之其内容深奥难懂，又牵涉较多数学知识，故本书只能做简单介绍，以供初学者参考。

第一节 自组织系统理论的历史发展

自组织系统理论的提出不是偶然的，它是 19 世纪中期以来热力学同生物学矛盾发展的结果。所以，我们要想搞清它的来龙去脉，就得把 19 世纪以来这两门科学的发展及其矛盾情况简要回顾一下。

一、19 世纪中期热力学的主要成就及其理论意义

（一）19 世纪中期热力学的主要成就

由于机械化大生产的推动，19 世纪中期，热力学和分子物理学发展起来了。当时的主要成就是发现了热力学第一定律和第二定律。

1. 热力学第一定律。

一个系统由始态变化到终态时，其内能的减少量（ ΔE ）等于该系统对外做的功（ A ）与该系统传递给环境的热量（ Q ）之和，这就是热力学第一定律，用公式表示则为：

$$\Delta E = A + Q$$

本定律亦可表述为：当一个系统由始态变化到终态时，其内能的增加量（ ΔE ）等于环境传递给系统的热量（ Q ）与系统对外所做的功（ A ）之差，用公式表示则为：

$$\Delta E = Q - A$$

现在假定，某一热力系统是完全孤立的，与环境完全隔绝的，即 $Q = 0$ ， $A = 0$ ，这时 $\Delta E = 0$ ，也就是说 $E = \text{恒量}$ 。这就是大家都知道的能量守恒定律，用文字叙述则为：能量即不能凭空产生，也不能凭空消失，它只能从一种形式转化为别的形式，或者从一个物体转移到别的物体。

可见，热学第一定律实际上就是能量守恒定律的一种特别形式，或者说，是热能守恒定律。^{〔1〕}

热力学第一定律的建立对纠正当时有些人企图制造“永动机”的错误倾向具有决定性的作用。

2. 热力学第二定律。

热力学第二定律是在研究如何提高热机效率的过程中发现的，它主要有两种表达方式：

（1）德国物理学家克劳修斯（ $R \cdot J \cdot E \cdot Clausius$ 1822—1888）在 1850 年表述为：

在一个孤立的系统内，热总是从高温物体传到低温物体中去，而不是相反。

（2）英国物理学家威廉·汤姆逊（ $Thomson Willian$, 1824—1907，又称开尔文勋爵）在 1851 年表述为：

不可能从单一热源吸取热量，使之完全变成有用功而不产生其他影响（这也就是说，任何热机的效率都不可能达到百分之百，那么剩余热量跑到哪里去了？传递到环境中去了）。

汤姆逊的表述虽然在形式上与克劳修斯不同，但其实质是一样的。首先，热能之所以不可能都变为有用功，是因为高温热源总是要把一部分热能传递给低温热源，这是规律。其次，克劳修斯的表述揭示了热传递过程的不可逆性，而汤姆逊的表述同样也包含着这种热能转化的不可逆性。因为汤姆逊认为，其

〔1〕 能量守恒定律中所说的能包括着能的一切形式，如热能、电磁能、化学能等。

他形式的能是可以完全转化为热能的，但热能却不可能完全转化为其他形式的能。

这就是热力学第二定律的基本内容。

热力学第二定律的建立否定了一些人制造第二代永动机（即热机效率达到百分之百的永动机）的设想。

3. 分子运动理论。

热力学第二定律发现以后，人们又对热运动的本质进行了研究，并在此基础上提出了分子运动理论。

分子运动理论的基本内容有：

(1) 热是大量分子无规则运动的表现。

(2) 处于某一温度下的气体分子并不都有同一速率。其中具有中等速率的分子所占的比例很大，而速率很大和很小的分子分布都是一样的。

(3) 单个分子的运动对于系统热状态没有独立意义，只有大量分子的统计表现才能决定整个系统的热状态。换句话说，物质系统的温度不是由个别分子的运动决定的，而是由系统内大量分子的运动共同决定的，它遵循的是统计规律。

整个 19 世纪在热力学理论方面所取得的主要成果就是上述三点（后来到了 1906 年，人们又提出了热力学第三定律，即绝对零度不可能达到的定律）。

(二) 从 19 世纪热力学中得出的几点结论

1. 在一个孤立系统中，热运动总是从不平衡态趋向于平衡态，并且最终达到平衡。如把一杯热水倒入一盆冷水中，过了一會兒，水温就完全一样了。

2. 在一个孤立系统中，物质总是从宏观有序态向宏观无序态发展，最终达到无序。如把一杯热水倒入一盆冷水中，开始时水中各部分的温度是不同的，有的地方高，有的地方低，这是一种有序现象；但随着时间的推移，水中各部分的温度都一样了，有序变为无序了。

3. 在一个孤立系统中，熵趋向于无限大。

什么是熵呢？

“熵”是克劳修斯在 1865 年提出的一个新概念，他规定：若一个物质系统的温度为 T ，热量为 Q ，则系统的熵为热量与温度之比。即：

$$S = \frac{Q}{T}$$

从这个公式中可以看出，同样大小的能量，如果温度较高，则熵较小；温度较低，则熵增大（熵实际上就是商，因为这里与热力学有关，所以在旁边

加了一个“火”字)。又由于热量总是要由高温物体传递给低温物体,因此,对于一个孤立系统(例如冷热水混合的孤立系统)而言,熵总是沿着增大的方向运动,因而有人把热力学第二定律称为熵增大定律。

那么,熵表示的究竟是什么东西呢?

它实际上表现的就是系统内无序态出现的程度。由于热能总是从高能端传向低能端,而在此过程中,系统愈来愈趋向于平衡和无序,所以从根本上讲,熵即系统内无序状态的量度。

从上述内容可见,平衡、无序、熵这三个概念是一致的,平衡态也就是无序态,也就是熵值最大的状态;而非平衡、无序、负熵则连在一起,非平衡态也就是有序态,也就是负熵态。

二、19 世纪热力学与现实的矛盾

19 世纪热力学的建立具有重要的哲学理论意义、科学方法论意义 and 生产实践意义。但是,当一些学者力图把热力学的成果推广到物质世界一切领域时,问题就出来了。

首先,克劳修斯根据热力学第一、第二定律,提出了一个“宇宙热寂”的假说。这个假说认为:宇宙中一切形式的能最终都会转化为热能,而热能又总是从高温物体传向低温物体,因而总有一天,宇宙会陷入热平衡态,而一旦处于热平衡态,宇宙中的一切运动也就停止了,处于“万籁俱寂”状态了。

这一假说与事实符合不符合呢?显然是不符合的。科学的发展表明,宇宙中确实存在着热平衡趋势,但同样存在着热不平衡趋势,而且就宇宙总体来说,热总是不平衡的,热平衡趋势只存在于个别物体之中或个别范围之内。

其次,热力学认为,物体总是由有序态向无序态转化。然而,生物科学的发展却表明,生物的产生和发展过程是由无序向有序、由低级有序向高级有序的进化过程,或者说,是由平衡向非平衡的发展过程。这究竟是怎么回事呢?下面我们就来看看物理学家们是如何解决这后一矛盾的吧。

三、19 世纪以来科学家们对热力学与生物学矛盾的解决

(一) 从系统内部分子热运动的角度去解释有序性形成机制的尝试

1. 麦克斯韦妖的提出 (Maxwell's demon)

1871 年,麦克斯韦 (Maxwell, James Clerk, 1831—1879) 在他的《热的理论》一书最后一章“热力学第二定律的限制”中提出了一个假说:他认为有一个神通广大的“妖精”,它能跟踪并控制容器内的每个气体分子的运动。如

把容器用一道隔板分成 A、B 两部分，并在隔板上安装一个阀门，由于单个分子的运动速率是不一样的，妖精就能在适当时候打开阀门，以让运动速率较大的分子从 A 进入 B，而让运动速率较小的分子从 B 进入 A。这样，无需消耗外界能量，B 部分的温度就上升，A 部分的温度就下降，从而形成了有序性。他认为生物系统的有序性就是这样形成的。

麦克斯韦所说的这个妖精，实际上就是一种机制，但这个机制又是怎样形成的呢？

2. 涨落导致有序的假说。

1913 年，波兰物理学家 M·斯莫洛卓夫斯基提出一种观点：一个系统的熵值与系统的涨落状态有关。什么是涨落呢？所谓涨落就是指一个容器内的气体（或液体）分子总的来说是平均分布的，但由于分子做无规则运动的结果，在小尺度的时空范围内，又会出现不均匀分布的情况。如有时在某一小范围内集中的高热分子较多，而在另一范围内集中的低分子较多，这就是涨落。他认为，麦克斯韦妖就是依附于这种涨落而实行有序性控制的。

M·斯莫洛卓夫斯基的这种涨落理论在一定程度上限制了麦克斯韦妖的作用，让其依附于涨落，然而，他仍未否定麦克斯韦妖的作用，认为只有涨落，没有这个妖精，还是不能从无序发展到有序的。

（二）从生命运动的角度去解释有序性的尝试

1944 年，奥地利著名理论物理学家、量子力学的创始人之一薛定谔（Schrodinger Erwin, 1887—1961）发表了《生命是什么》一书。在书中，他用量子力学和生命固有特征的观点对生命体有序性问题进行了解释，这在当时产生了很大影响。

1. 生命遗传机制的量子论解释。

早在薛定谔发表《生命是什么》一书以前，遗传学研究中就已发现，生物体有规律有秩序的行为是由基因决定的。基因具有三个特性：（1）它是一种非常小的、不足以显示统计学规律的原子团；（2）基因具有（相对）不变性，这表现为遗传模式的持久性；（3）基因又可以发生突变，并导致新物种的产生和遗传。那么，基因在遗传过程中的突变（即变为新的有序态）究竟是怎样发生的呢？薛定谔的解释是这样的：假定基因是一个具有复杂结构的大分子（量子），它只能发生不连续的变化（即每一次变化都是质变），在变化过程中，必有一种变化的出现（具有较高能级的状态）需要外界供给能量，而这种变化状态的出现就是突变。由此可见，基因遗传突变（新有序态的出现）是与基因分子热运动的偶然涨落以及环境供给能量有关的。

2. 生命特征与生命有序性的关系。

薛定谔认为,生命的基本特征是新陈代谢,新陈代谢就是生命体与环境之间的交换活动。交换的内容是什么?他认为是熵。有机体的生命活动过程,归根到底就是不断从环境中吸取负熵(秩序)、同时输出熵(无序)的过程。例如,高等动物的食物状态是有序的(淀粉、蛋白、糖、维生素的比例确定),动物在利用这些食物以后,排泄出来的是有序性大大降低了的东西。因此,他认为在生命活动中,不是有序来自无序,而是“有序来自有序”。

薛定谔的这些观点显然比麦克斯韦妖的解释前进了大步:他赶走了妖精,而代之以量子科学和生物科学,但其缺陷是搞错了生命体与环境交换的真实内容,同时也在一定程度上回避了无序如何变为有序的问题。

(三) 从生命系统与物理系统的本质差别上去解决问题

1. 贝塔朗非的解释。

1940年,贝塔朗非发表了“作为开放系统的生物学理论”一文,文中指出,有机体并不是封闭系统,而是不断有物质和能量进出于它与外界环境之间的“开放系统”。生物系统的新陈代谢、生产、兴奋等特征都是可以从其开放性上得到说明和定量描述的。

在这里,贝塔朗非从根本上把热力学第二定律的实现条件同生命有序性的实现条件作了区别,并且提出了一个十分重要的概念——开放系统的概念。正是由于生命系统的开放性,才使得它能够克服熵增大趋势而保持相对稳定的有序态。

2. 维纳的说明。

维纳在《控制论》中对生命现象的解释也特别感兴趣,他的观点主要有如下三个方面:

(1) 牛顿物理学与生物学是有区别的。在牛顿物理学中,时间具有可逆性,而在生物中,时间是不可逆的。因此,不能用牛顿力学定律去解释生命现象。

(2) 麦克斯韦妖对运动分子的控制有一个条件,即它必须事先获得有关分子运动速率的信息。因此,物体内部没有信息传递过程,其有序性是不可能形成的。

(3) 生命现象是不可能在绝对平衡态下发生的,而只有在相对平衡态或近乎平衡态下才有可能发生。因为在绝对平衡态下,系统熵达到最大值,而在近乎平衡的状态,熵值则比较小,可以保持一定有序性。

3. 布里渊的总结与发挥。

1949年,物理学家布里渊发表了《生命、热力学和控制论》一文,在这篇论文中,他对生命与热力学的关系提出了自己独到的见解,其内容主要有:

(1) 热力学的两个定律只适用于孤立系统,而生命本质上是一个开放系统,它遵循着开放系统的特殊规律。

(2) 生命机体是一个处在不稳定平衡中的化学系统。“生命力”使得机体的不稳定结构得以保持,并把正常的、一般的分解过程一直减缓到生命的终结为止。在这里,生命力是重要的,它实际上起着一种负催化剂的作用。

(3) 把熵的概念应用于生命机体具有重要意义。因为生命是与信息联系在一起的,而信息是负熵的表现。

(四) 自组织系统理论的诞生

从上面叙述中不难看出,人类对自组织现象^[1]形成机制和发展规律的考察早在19世纪70年代就开始了,经过近100年的努力,到20世纪60年代末,已经积累了丰硕成果。自组织系统理论正是在这些成果的基础上,由一些科学家作进一步研究、概括而提出来的。

1969年,比利时布鲁塞尔学派的科学家普利高津(I·Prigogine)总结了前人的研究成果,在一次“理论物理学与生物学”会议上,提出了一种“耗散结构理论”。在这种理论中,他把宏观系统分为三种:一是孤立系统,它与周围环境不发生任何物质能量交换关系;二是封闭系统,它只与环境发生能量交换关系;三是开放系统,它与环境交换物质和能量。开放系统又有三种存在状态:一是热力学平衡态;二是近平衡态;三是远离平衡态。普利高津认为,只有在远离平衡态的开放系统中,“新的结构和新型的组织才能够自发地形成。”而这种自发形成的有序结构就称做“耗散结构”,这是一切生物和社会系统的共同特点。这就是耗散结构理论的基本思想。

20世纪70年代以后,自组织系统理论研究有了新的进展。1971年,柏林大学生物学家爱根(M·Eigen)提出了一种超循环理论,认为在生命起源和发展的化学阶段和生物学进化阶段之间,有个分子自组织阶段,在这个进化阶段中,形成了今日人们所发现的具有统一的遗传密码的细胞结构。这种统一的遗传密码的形成并不在于它是进化过程中唯一可以进行选择,而是因为在这一阶段形成了一种超循环式的组织,这种组织具有“一旦建立就永存下去”的选择机制。因此,进化原理可理解为分子水平上的自组织,也就是说,达尔文的进化论原理是可以从分子水平上的自组织原理而推导出来的。1972年,

[1] 系统由无序自发走向有序的过程称为自组织过程,如生命的形成、某一社会组织的建立等。

法国数学家雷内·托姆 (Rene Thom) 出版了《结构稳定性和形态发生学》一书,系统地阐述了“突变理论”,从数学上对系统的自组织过程作了精确描述。1976年,原西德科学家赫尔曼·哈肯 (Hermann Haken) 又正式提出一种“协同学”理论,认为系统的自组织主要是组成要素之间协同作用的结果。目前,自组织系统理论仍在发展,可以预见,随着自组织系统理论研究的日益深入,必将使人们对生命之谜获得更深刻的认识,也必将使人们对社会发展的机制获得更多的了解,从而进一步推动实践的前进。

第二节 耗散结构理论简介

耗散结构理论是比利时自由大学教授普利高津于1969年在《结构、耗散和生命》这篇论文中提出的。这一成果被誉为“70年代化学领域的辉煌成就之一”,普利高津本人也因此而在1977年被授予诺贝尔化学奖。

一、系统分类

普利高津在总结前人经验的基础上,根据系统与环境的关系,把系统分为三类:

1. 孤立系统。即与环境没有物质、能量交换关系的系统。如篮球中的气体 (假定篮球外皮是绝对绝缘的)。
2. 封闭系统。即与外界只有能量交换而无物质交换的系统。如电机、电动机等。
3. 开放系统。即与环境具有物质、能量交换关系的系统。如生命系统、社会系统,等等。

普利高津认为,由于热力学第二定律的作用,孤立系统是不可能自发地从无序转变为有序的,而只能从有序 (如果原来是有序的) 转化为无序。如把生命体与外界环境隔绝,它就会陷于死亡,进到体内无序状态 (相对于生命结构而言)。只有在封闭系统和开放系统中,才有可能发生从无序向有序、从低有序向高有序的转化。

二、什么是耗散结构

我们已经知道,所谓结构即指系统内部的各个要素之间的一定联系方式,如钟表结构、建筑结构等。任何事物都是有结构的。

什么是耗散结构呢?

普利高津是这样表述的：一个远离平衡态的开放系统，当外界条件变化到一个特定临界值时，系统内部某个参量发生涨落而导致系统发生突变，即非平衡相变，那么，该系统就会由原来的混沌无序态转变为一种在时间、空间或功能上的有序状态，并且，这种结构状态只有在系统与环境不断交换物质和能量时，才能得以维持。这样的系统结构就叫耗散结构。

下面我们略加解释：耗即消耗、损耗之意，散即扩散之意。如火力发电，这里面既有热能消耗（输入）过程，又有电能扩散（输出）过程，总起来说，就是能量耗散过程。

普利高津所讲的耗散结构是指：只有在不断地消耗外界的物质和能量，同时不断排除或扩散掉系统内的一部分物质和能量才能维持的有序结构。简言之，建立在与环境发生物质、能量交换关系基础上的结构即为耗散结构。

例如，生命结构就是一种耗散结构，它需要不断与外部自然环境进行物质、能量交换才能使自己维持下去。这种交换关系一旦停止，结构就要瓦解，生命就要灭亡。

又如，一个城市只有不断与外界进行物质、能量交换才能维持下去，使自己具有活力。这种交换一旦停止，城市就会出现危机。所以，城市就是一种耗散结构。

耗散结构具有如下几个特征：

（一）动态性

耗散结构是一种动态结构，而不是静态结构。这里所谓动态结构是指：第一，构成系统的物质、能量要素是不断更新的，但其结构关系不变。如生命结构、生产结构都是如此。第二，系统是不断发生质变的。如在蚕的一生中，其内部结构不断改变：卵——成虫——蛹——蛾——卵，这就是一种动态结构。社会的发展也是如此。所谓静态结构即指构成的物质、能量要素及其相互关系均不发生变化的结构，如晶体结构即属静态结构，静态结构不属于耗散结构的范畴。

（二）有序性

耗散结构是一种有序结构。有序与无序是描述系统之间和系统内部各要素之间关系的概念。有序是指系统内部诸要素和系统之间有规则的联系或转化；无序则指它们之间混乱而无规则的组合以及系统运动转化的无规则性。耗散结构是有一定秩序的，是按一定方向（不可逆性）运动的。

(三) 宏观性

耗散结构是一种宏观结构。这里所谓宏观是指由分子以上水平的物质要素的相互关系形成的结构。分子以下水平的结构称为微观结构（包括分子结构）。例如，细胞结构、组织结构、社会中的家庭结构等都属于宏观结构，亦为耗散结构。

总之，耗散结构是一种宏观有序的动态结构。

三、耗散结构的形成条件

耗散结构主要是关于耗散结构（自组织系统）的形成条件、运动机理和变化规律的理论。关于其形成的条件，普利高津曾在“复杂性的进化和自然界的定律”一文中做过简要说明：“生物和社会组织包含一种新型的结构，它与平衡结构例如晶体有不同的来源，要求有不同的解释。社会和生物的结构的一个共同特征是它们产生于开放系统，而且这种组织只有与周围环境的介质进行物质和能量的交换才能维持生命力。然而，只是一个开放系统并没有充分的条件保证出现这种结构。……只有在系统保持‘远离平衡’和在系统的不同元素之间存在着‘非线性’机制的条件下，耗散结构才可能出现。”〔1〕下面，我们具体分析一下这三个条件：

(一) 系统处于远离平衡态是耗散结构产生的第一个基本条件

普利高津把系统内部的状态分为三种情形：

1. 平衡态。即指系统内部各个区域的物质密度或能量分布都是等值的。如一杯水的各个区域的分子密度和能量都是等值的，这可以通过比重计和温度测量出来，于是我们就说这杯水是处在平衡态的系统。

普利高津认为，处于平衡态的系统是不可能产生耗散结构的，因为系统内部各个区域的物质及能量一旦出现平衡，它就不可能产生流动，也就必然是死水一潭，不可能有什么生气。

2. 近平衡态。即指系统内部各个区域的物质密度或能量分布只有很小的差别，接近于平衡态。例如把一碗热水放在冰块上，开始碗底的温度低些，上面的温度高些，但也差不多，这就可以视为近平衡态。

处于近平衡态的系统也不可能形成耗散结构。因为这种平衡态虽然会引起系统内部一定量的物质和能量流动，但这种流动的速率很低，而且很容易达到

〔1〕《自然科学哲学问题》，1980年第3期。

平衡。

3. 远离平衡态。即指系统内部各个区域的物质和能量分布是极不平衡的, 差距很大。如把一壶水放在火上烧, 其壶底的温度与上面的温度相差很大, 这可视为远离平衡的状态。河水、台风、生命、社会都是一些处于远离平衡态的系统。

普利高津认为, 只有处于远离平衡态的系统才有可能形成耗散结构。这是因为: (1) 只有系统处于远离平衡态, 才能形成秩序。这就像一个班的学生排队一样, 身体高低不同才能形成由高到低的秩序。(2) 只有系统处于远离平衡态, 才能形成动态特征。例如供暖系统的热循环, 河水由高处往低处流动, 等等。

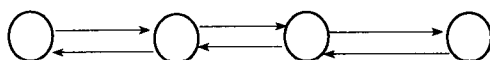
(二) 系统的开放性是耗散结构产生的又一个基本条件

根据热力学第二定律, 在一个孤立系统中, 物质的高能区总是要向低能区转化的, 直到最后趋于平衡, 而一旦达到平衡态, 系统的有序性也就转化为无序性了。因此, 要想防止系统由非平衡有序向无序的转化, 就必须从外部给它补充一定的物质和能量, 同时使它向环境中释放出一定的物质和能量。也就是说, 只有当系统处在开放状态时, 才能从外部输入负熵, 以抵消内部产生的熵增。例如, 动植物只有在与其与环境发生一定水平的物质能量交换关系的情况下, 才能正常地生长发育, 如果将其与环境隔绝, 或其与环境的物质能量交换关系没有达到一定水平, 则其生长发育就会停止, 直到死亡。一个工厂也只有不断地输入原材料, 同时输出产品 (处在开放环境中), 才能进行正常生产 (保持有序性), 否则就会停产。

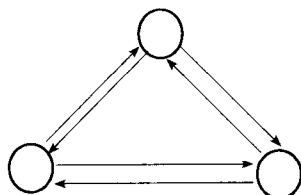
(三) 系统内不同要素之间存在非线性机制是耗散结构形成的又一基本条件

线性关系与非线性关系原是一对数学概念, 线性机制表现为 X 是 Y 的一次函数, 其数学图像是直线; 非线性机制表现为 X 是 Y 的二次以上的函数, 其数学图像是曲线。这里所说的线性机制指的是事物要素之间依次排列成一条直线并相互作用的机制 (图 5 1), 而非线性机制则是指事物要素之间以立体网络形式相互作用的机制 (图 5 2)。

为什么说非线性机制也是耗散结构形成的基本条件呢? 这是因为, 耗散结构是一种空间有序结构。而这种结构只有在构成系统的所有要素之间都存在相互联系和相互作用的情况下才能形成。如果只存在个别因素之间的相互作用, 系统就会瓦解, 而不可能形成空间有序结构了。

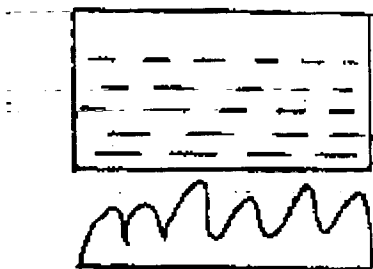


图五 1 线性机制示意图

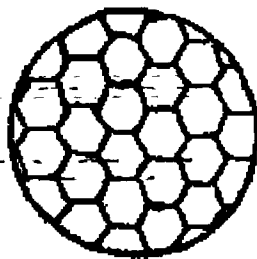


图五 2 非线性机制示意图

下面，让我们用普利高津等人最早使用的贝纳德花纹（Benard）的例子来说明一下上述条件在耗散结构形成中的作用：从下面加热一个平底玻璃容器中的静止液体（平衡态）（图五 3），液体将产生一个温度差，当温度差不太大时（系统处在近平衡态），液体通过热传导方式（不伴随物质分子的移动）来传递热量。继续加热，温度差增大，意味着系统离平衡态愈来愈远，当温度差达到某一特征值后，系统稳定条件便不能满足，这时会突然自动出现六角形的对流花纹——贝纳德花纹（图五 4），花纹中心，液体向上流动，花纹边缘，液体向下流动，此时热量的传递主要靠这种宏观的物质对流。这种有序的花纹结构就是一种耗散结构。这时，如果停止加热，温差迅速变小，贝纳德花纹随即消失。在这个例子中，没有下方热源对系统的加热和系统对方空间的散热，没有一定的温差（温度梯度），没有液体分子的非线性机制，贝纳德花纹（耗散结构）显然是不会自动出现的。



图五 3 从下面加热液体



图五 4 贝纳德六角形花纹

四、耗散结构理论的意义

耗散结构理论的提出具有重要方法论意义。

首先,它为结构研究开拓了一个新领域。结构研究是各门科学的基本任务之一。如力学要研究机械结构,化学和微观物理学要研究晶体结构、分子结构、原子结构、原子核结构、基本粒子结构,天体物理学要研究天体结构、宇宙结构,社会科学要研究社会结构、经济结构等。然而,以往科学大多只限于研究具体的静态平衡结构,涉及的也只是具体的封闭系统。而耗散结构理论则主要是探讨各种非平衡结构的共性,涉及的亦主要是各种开放系统,这样就使人类对结构的认识进入了一个新的领域,也为人类对结构的控制和改造提供了一种新方法。

其次,它为提高系统的功能指出了一条新途径。大家知道,系统功能主要是由系统结构决定的。一个系统的自组织能力愈强,其保持和产生新功能的能力也会愈强。例如,生物界比无机界的自组织能力要强的多,因而生物界产生的功能也比无机界多得多,如生物具有自我调节、自我复制和选择性反应三大功能,而无机界的石头则没有;高等动物的自组织能力比低等生物要强得多,因而高等动物所具有的功能也远比低等生物复杂;人类社会的自组织能力比动物界又高多了,因而人类社会的功能也比动物界的功能高级多了。既然如此,我们欲维持和发展一个系统的功能,就要设法从提高其自组织能力入手,而如何才能提高系统的自组织能力呢?耗散结构理论则为我们提供了指导线索。

此外耗散结构理论还为我们进一步搞清时间的可逆性与不可逆性的关系、有序与无序的关系、整体与局部的关系以及决定论与非决定论等重要哲学问题提供了新的启示,为把自然科学与社会科学联系起来架起了一座有益的桥梁,使人类对客观世界的认识和改造进入了新的历程。

由于耗散结构存在于客观世界的诸多领域,因而其可应用的范围是极广大的。如物理学、化学、材料科学、生物科学、脑科学、气象科学、天文科学、社会科学及至思维科学等学科都是其自由驰骋的疆场,并已在一些学科取得显著成果。如我国学者把耗散结构理论应用于经济学研究,创立了非平衡系统经济学(或称开放系统经济学),其基本内容是:(1)任何经济实体,在与外界不发生作用的情况下,均会产生相对静止和经济衰退现象;(2)凡是与外界相互作用的开放经济系统,必定会受到外界的影响而产生经济发展的加速度;经济发展的加速度与经济开放程度成正比;(3)一个具有内动力的经济系统,必定是一个有差异的、非均匀的、非平衡态经济系统。相反,那种无差异的、均匀的平衡态经济系统是难以发展的。这种非平衡系统经济学理论正在对我国的

经济体制改革发挥着重要作用。

第三节 协同学简介

协同学是由原西德斯图加特大学理论物理学教授赫尔曼·哈肯(H·Haken)在1973年提出的一种学说。1977年,他正式出版了《协同学导论》一书,宣告了这门科学的诞生,并于1981年荣获美国富兰克林研究院迈克尔森奖章。1983年,他又发表了《高等协同学》一书,形成了比较完整的科学体系。协同学的创立是继耗散结构理论之后对自组织系统理论的又一重大发展。

一、协同学的研究对象

协同学的研究对象同耗散结构理论的研究对象一样,也是自组织现象,不过研究的角度和范围有所不同罢了。协同学主要是从系统内部各要素相互作用的方式上去研究自组织机制,而耗散结构理论则主要是从系统内部及其和外部环境的关系上去研究这一问题的。就研究内容而言,协同学要比耗散结构理论更丰富一些:协同学不仅研究远离平衡态的开放系统,而且研究平衡态的封闭系统,它不仅研究系统从无序到有序的演化规律,而且也研究系统从有序到无序的演化规律,并首次将有序与无序辩证统一起来。协同学的主要研究方法是类比,即根据不同系统间存在的相似性进行类比。其理论适用的范围有非生物、生物、社会、心理等领域,这比耗散结构的适用范围要广大。

为了说明问题,我们先介绍三个概念。

(一) 组织

“组织”一词本来是生物科学和社会科学中使用的概念,后来才被引入系统理论中的。一般来讲,所谓组织乃是指系统内部的有序结构或指这种有序结构的形成过程。

例如,淋巴组织、结缔组织,这都是生物体内的有序结构,而政治组织、经济组织、军事组织则是社会有机体中的有序结构。而这些有序结构的形成过程就称为组织化过程或简称组织过程。我们平常所说的“组织起来”,实际上也就是指大家按一定规则组成一个有秩序的整体过程,也就是形成一个有序结构的过程。

（二）他组织

哈肯认为，从组织的形成方式来看，可以把它分为两类：一类叫他组织；另一类叫自组织。若一个系统靠外部指令而形成组织，这就是他组织（或称他动组织）。他举例说：“一个工人集体，如果每个工人按照经理发出的指令而以一定的方式活动时，那么，它就有了组织的功能。”我们也可以说，打仗时，部队按上级指挥员作战部署而行动，这也是一种他组织。

（三）自组织

哈肯指出：“如果不存在外部指令，而工人们能够按照相互默契的某种规则，各尽其责而又协调地工作”，这样的组织“我们就称为自组织”。概括地说，在不存在外部指令的情况下，系统内部自动形成的有序结构就是自组织。

自组织现象无论在自然界还是在人类社会中都普遍存在的。如宏观天体的形成，微观粒子的产生，动植物的生长发育，人类社会形态的变更，都是自组织过程，在一定意义上可以说，没有物质世界的自组织过程，就不会有今天的世界。协同学正是以物质世界的这种自组织机制为其研究对象的。

二、协同学对自组织机制的提示

通过前面介绍，我们已知，耗散结构论是从三个方面来揭示自组织形成机制的，那么，协同学的新贡献又是什么呢？

（一）系统内的协同运动是自组织过程的内在根据

这种协同又分为两种情况：

1. 系统各要素之间的协同是自组织过程的基础。协同学认为，在一个系统中，其要素（子系统）的运动存在两种状态或趋势：其一是自发的无规则运动（如分子热运动、以私有制为基础的生产无政府状态），其二是由于要素之间的相互关联而导致的协同运动（如结晶过程就是分子间的协同运动，足球比赛时，各方队员都要注意协同运动）。实验表明，在不同的外界条件下，系统要素的这两种运动状态在系统中的地位和作用是不同的。当在一定条件下，系统要素的无规则运动占主导地位时，系统呈无序状态（无组织状态）；而在另一条件下，当系统要素之间的协同运动束缚住其无规则独立运动而占据主导地位时，系统则呈有序状态（组织态）。例如，在高温下，一个容器内的蒸汽分子做互不相关的独立运动，处于无序态；当温度降低时，它形成液滴，分子之间保持一个平均距离，有序程度提高；最后，当温度降至 0°C 以下时，

水结成冰，分子完全以固定的立体秩序排列，有序程度很高。在以上三种情况下，容器内各处温度都是均匀的，因而是一种平衡态。由此可见，系统内的有序结构（组织）归根到底是由要素之间的协同运动（矛盾诸方面的统一）决定的。系统由无序向有序的转变过程，实际上是系统内的无规则独立运动的主导地位为协同运动的主导地位所取代的过程，而这一过程既可发生在非平衡态之下，又可发生在平衡态之中，这样，协同学就同耗散结构理论有了重要区别。

2. 系统内各序参量之间的协同合作是系统组织性产生的直接根源。

序参量即标志系统有序性程度的参数。如在铁磁体的磁化过程中，总磁化强度就是它的序参量；在激光形成的过程中，光场强度是其序参量；在社会组织的形成过程中，组织化程度也是其序参量，等等。序参量支配着系统要素之间的协同方式和协同能力，也就是序参量主宰着系统的有序性或自组织性。序参量为零，系统处在无序态。如激光的形成过程就是在一定光场强度的控制下，各光子按照相同方向，频率、位相和偏振态运动的过程，场强为零，激光也消失。

实际情况表明，当系统处于相变（状态变化，如固态变为液态）临界点时，往往同时有几个序参量存在，而每个序参量又都对应着一定的宏观组织结构。这时，几个序参量之间就会产生竞争，其中，每个序参量都想“吃掉”对方，独立主宰系统，但当他们一时谁也吃不掉谁时，彼此便往往自动采取妥协办法，通过合作，协同一致地主宰系统。这时，系统就会呈现出新的组织结构。而随着外界条件的变化，当一个序参量战胜其他序参量并由它单独主宰系统时，系统又会形成更高一级的有序结构，也就是说，这时系统的要素之间又以新的方式做协同运动了。

这种由序参量之间的竞争和协同促使系统从一种结构突变为一种新结构的典型例子，是“贝纳德现象”。当我们从下面加热一杯液体时，可以发现这样三种结构的依次更替：当液体下表面和上表面温度差比较小时，热以传导方式传递，当温度差逐渐增加至临界点时，液体中同时出现了三个序参量，每个序参量都支配着一个平面波型的幅度，并有发展为一种宏观结构的趋势，由于这三个序参量的阻尼系数和弛豫（衰减）时间都相同，谁也无法吃掉谁，只能相互合作，共同支配系统。这样一来，在液体上表面就会出现由六角形构成的网状结构。而当温度继续升高，三个序参量便展开竞争，而且愈演愈烈，当温度升至新的临界点时，只有一个序参量（慢弛豫参量）能够保持下来，并主宰系统格局，这时，人们从液体的上表面可观察到一种卷筒状结构，这是一种更新的组织结构（图五5）。



图5 5 液体卷筒状结构

又如，在中国民主革命的过程中，产生了很多政党所代表的政治力量（序参量），其中主要是中国共产党所代表的无产阶级和广大农民阶级的政治力量和中国国民党所代表的大地主、大资产阶级的政治力量。在中国革命的一定历史时期和一定条件下（北伐战争和抗日战争），这些政治力量由于共同利益目标所驱使，相互联合起来，形成统一战线。但随着民族矛盾的解决和国内阶级矛盾的进一步深化，这些政治力量之间便展开激烈斗争，最后，中国共产党领导的无产阶级和广大人民群众的力量取得了胜利，使中国社会走上了人民民主专政的社会主义道路。同旧社会相比，这毫无疑问是一种完全新的组织结构。

（二）在临界过程中，涨落是形成系统有序结构的推动力量

协同学认为，一个系统无论是处于无序状态，还是处于有序状态，都不是绝对的。当系统处于无序状态时，系统内要素之间的协同运动依然存在——导致系统出现有序的因素依然存在，只是其不占统治地位而已；同样，当系统达到有序状态时，其要素的无规则运动也并非完全停止了，而是继续起着破坏系统有序状态的作用。因此，无论系统是处在无序状态还是有序状态时，它都不会绝对稳定在某一个值上。由于系统要素的独立运动或在局部产生的各种协同运动（耦合）以及环境因素的随机干扰等，系统的实际状态值总会偏离平均值，而这种偏离平均值波动大小的幅度就叫涨落（即控制论中所说的振荡）。

涨落对系统由一种稳定态向另一种稳定态跃迁的影响是很大的。当系统处在临界点以下的某种稳定状态时，这种涨落对系统的影响很小，可以忽略不计。例如，当河水的水位处在堤坝以下很远的位置时，河水的涨落不会导致决口；当国际形势处在总的缓和状态时，星星之火也不会导致世界大战。但是，当系统处在由一种稳态向另一种稳态转变的临界点时，涨落系统的影响就相当大了，这时的微观涨落很容易发展到影响系统全局的巨涨落，使系统跃迁到新

的稳定态。譬如当洪水水位达到与堤坝顶部平齐时，这时水位稍稍涨落一点，就会漫过堤坝，造成洪水横流。又如当革命势力发展到与反革命势力势均力敌时，再随机出现一个或几个有利于革命势力的因素（敌人营垒的分裂、起义等），都会立即使革命势力迅速战胜反革命势力而控制全局。

涨落对系统形成有序结构的推动亦如此：当系统处于总的无序状态时，涨落对系统稳定性的影响是很小的，甚至可以忽略不计。但当系统接近由无序向有序转变的临界点时，即系统要素之间的独立运动和协同运动进入均势阶段时，由要素之间的协同运动所引起的系统涨落就不可忽视了。因为这时系统的有序性为零，故任一微小涨落都会迅速被放大成为波及整个系统的巨涨落，推动系统进入有序状态。当然，这时的涨落也会是多种多样的，但由于系统内部和外部条件的影响，多数涨落都会迅速衰落下去，而最终只会有一个或少数几个涨落影响全局，使系统进入相应的有序态。“因此，从随机的观点来说，涨落是形成有序结构的动力，是有序之源。按照动力学的观点观察，系统的演化结果是由初始条件和边界条件（外因）决定的。然而在临界过程中，没有涨落的推动，系统是不可能演化的。”〔1〕

（三）开放是自组织形成的外部条件

协同学认为，系统从无序态转变为有序态，除了内部协同作用机制外，还需要环境提供物质与能量流（在协同学中叫控制参量）来保证。那么，这种控制参量又是怎样影响系统要素的协同运动的呢？

1. 当控制参量变化时，它改变着系统要素之间的相互关系和地位，改变着要素之间的协同方式和程度。例如，没有温度的降低，水分子热运动的动能（独立运动）就不可能减少，而分子之间的热能（协同运动）就不可能增加，水也就没有结冰的可能。因此，外界环境不提供促成系统要素之间关联变化的条件，系统是不可能产生自组织行为的。

2. 系统的自组织机制将外界提供的无规则形式的物质和能量进行加工，使其变为有序形式。例如激光的形成就是这样的：从外界输送给激光器的能量是无规则的，然而这些能量经过自组织结构加工后，就变成了完全有序的激光的能量。

上面这些就是协同学在揭示自组织现象机制方面的主要贡献。不难看出，协同学的基本思想与耗散结构理论是一致的。如都从系统内部的非平衡寻求有

〔1〕 郭治安、沈小峰：“系统工程与协同学”，见《论现代自然科学和社会科学的结合》，湖南人民出版社1986年版，第150页。

序的源泉，都紧紧抓住了系统稳定性这一本质问题（为避免重复，我们在介绍耗散结构理论时未提及这一点）。然而，协同学理论毕竟也有自己的独到之处：第一，与耗散结构理论仅从少数热力学、化学的例子演绎有序性产生的规律不同，协同学研究了机械运动、流体力学、热力学、固体物理、铁磁现象、超导现象、激光、化学、生化、生物、地学、气象、社会……的大量自组织系统，分别说明其从无序到有序的演化规律，这就揭示了自然界（以及人类社会）从无序向有序进化的极大普遍性。第二，协同学着重从系统内部诸要素之间，特别是各序参量之间的联合作用效应方面来阐释自组织过程的规律，这无疑是在开辟了一个新的研究途径。第三，协同学发现系统演化的原因虽然离不开“非平衡”这一因素，但演化的起点、终点却都既可以是非平衡态，又可以是平衡态，不一定非要是远离平衡态的非平衡态，这比耗散结构理论也更加全面和深刻了。此外，协同学还更充分地运用了数学稳定性理论并采用了哈肯自己找出来的“绝热消去原理”，解释了许多进化现象，这对于阐明不同性质系统进化规律的共同性，亦有极大意义。总之，协同学的提出把人们对自组织现象的认识向前推进了一大步。

三、协同学的应用

协同学的应用还是很初步的，目前主要是在物理学、流体力学、化学、生物学方面取得一些成绩；在社会学、经济学方面的应用还刚刚展开，其成果远不如系统工程、信息论、控制论的应用成果突出。然而，协同学的普遍意义是毋庸置疑的，随着科学技术所研究和解决的系统对象愈来愈复杂和巨大，对系统内部各要素之间相互协同规律的认识和把握就会愈来愈重要，对协同学的应用也就会愈来愈迫切和广泛了。特别是对我们这样一个有 13 亿人口的大国来讲，要搞好社会主义现代化建设的管理工作，懂点协同学知识尤为必要。哈肯在《协同学导论》的最后指出：“协同学是一门很年轻的科学，有许多惊奇的结果还在我们前头。”实践的发展必将证明这个预言的正确。

第四节 突变论简介

突变论是法国数学家雷内·托姆于 1972 年在《结构稳定性和形态发生学》一书中创立的一种数学理论，他为此荣获了当代数学界的最高奖——菲尔兹奖。

众所周知，无论在自然现象还是在社会现象中，突变现象都是普遍存在

的，如地震和火山的突然爆发，飞机的突然失事，心脏病的突然发作，政治经济事件的突然发生，以及文艺创作中灵感的突然出现，等等。然而，在以往的数学发展中，却没有一个分支是描述这种突变过程的。从牛顿创立的微积分到现代的艰深数学成就，都只研究一些渐变的、光滑的变化现象，如天体的运动就是有规律地连续不断地进行的，人们可以精确地预测其未来运动状态。突变论则是专门描述突变现象的数学分支理论。换句话说，它是以客观过程从一种稳定状态跃迁到另一种稳定状态的数学特征为研究对象的。由于系统的自组织过程也是一种状态变化的过程，因而突变论刚一诞生便成为其重要的数学工具，并推动自组织系统理论研究进入了一个新阶段。

一、突变论的基本内容

（一）稳定性与非稳定性

突变论是建立在稳定性理论的基础之上的。突变论认为，宇宙中任何一个事物都处在一定状态之中，或者处于稳定状态，或者处于非稳定状态，或者其构成要素的一部分处于稳定状态，而另一部分则处于非稳定状态。所谓稳定状态就是指事物在内外环境因素干扰下能保持不变的存在状态或发展趋向。例如在标准气压下，当温度在 $0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 之间变化时，水的液态性质不变，液态就是水的稳定态。又如，当人类社会生产力水平处在一定发展阶段时（如石器、青铜器、铁器、大机器），则与之相适应的社会生产关系的性质（如氏族公有制、奴隶主私有制、封建主所有制、资本家所有制）也是不变的，这些不变的生产关系则是人类社会发展中的一些稳定态。所谓非稳定态则是指事物在内外环境因素的干扰下容易发生变化的存在状态或发展趋向。例如沸腾时的水、社会变革时期的生产关系等等即都属于事物的非稳定态。突变论认为，在存在干扰的情况下，只有稳定态才能存在下去，而非稳定态是不能维持的。由非稳定态向稳定态转化是客观事物运动变化的普遍趋势之一。事物性质也主要是由其处于稳定状态时的性质决定的。

（二）突变过程的本质及特征

突变论认为，突变的过程是系统由一种稳定态经过不稳定态向新的稳定态跃迁的过程，表现在数学上是标志系统状态的各组参数及其函数值变化的过程。当系统状态可用一组函数取唯一值（如能量取极小，熵取极大）的参数来描述时，系统是稳定的；而当参数在某个范围内变化，使得该函数值有不止一个极值时，系统必处于不稳定态；这时，如果参数再有微小变化，函数又可

取新的唯一值，系统便进入新的稳定态（超稳态），与此同时，突变也就发生了。这就是雷内·托姆对突变过程的基本数学描述。

从突变过程的系统中，我们可以发现突变有以下基本特征：

1. 多稳态性。除个别系统的突变形式（如个体由生到死——折叠式突变）以外，绝大多数系统都存在两种以上的稳定状态，并可发生多种可逆的突变过程。例如在水分子系统中，固态、液态、气态是三种稳定态，在特定条件下，固态与液态可相互转化（突变），液态与气态亦可相互转化（突变）。所以，一般而言，系统突变是建立在多稳态的基础之上的。

2. 中间非稳态性。突变与渐变不同，渐变是一个由稳态→新稳态→新稳态的连续变化过程，而突变则要经历一个中间不稳定阶段，即由稳态→非稳态→新稳态的过程。例如，水在沸腾时就进入非稳态——水气混和物状态了，液态的水正是在经历了这一非稳态之后才变成了气，从而实现突变的。所以，是否经历非稳态阶段乃是突变与渐变的根本区别。

3. 突变点是一个范围。过去认为，突变的关节点是一个固定不变的点。突变论则认为，两种质态相互转化的关节点是一个随条件变化而有规律分布的区域（非稳态区），在这一区域内的任何一点上都有可能发生突变，而突变究竟在哪一点上发生，则取决于干扰的大小，干扰越大，突变发生的越早，干扰越小，突变发生的越迟。例如，人们平时所说水在常压下的沸点是 100°C ，其实，这并不是一个绝对不变的点，而是指 100°C 左右的一个范围， 100°C 只是在有干扰情况下的一个统计平均值而已。

4. 突变结果带有随机性。突变论揭示，即使是同一个历史过程，对应于同一控制因素临界值，突变仍会产生不同的结果，即可能达到若干个不同的新稳定态，每个状态都呈现出一定的概率。例如，一次社会事件可以走向不同的结局，究竟出现哪一种结局，事先无法确定；自然界一场暴风雨过后，也可能带来不同后果，究竟出现哪种后果，这也不得而知；在思想领域里一场论战过后，结局也是不同的，可能双方互相妥协，也可能一方战胜一方，还有可能双方同归于尽，为新的思想所取代。

（三）突变形式具有多样性

所谓突变形式指的是不同质态的系统在相互转化（突变）时的关节点分布的几何形状。雷内·托姆经过严格的数学推导发现，在控制参量的个数不超过 4 时，突变过程共有 7 种类型；而当控制参量的个数不超过 5 时，突变过程共有 11 种基本类型；如果控制变量超过 5 个，则突变类型趋于无限多个，这深刻说明了物质世界突变形式的丰富性。

突变过程的七种基本类型是：

尖点型突变（控制参数为2）（图五6）

折叠型突变（控制参数为1）

燕尾型突变（控制参数为3）（图五7）

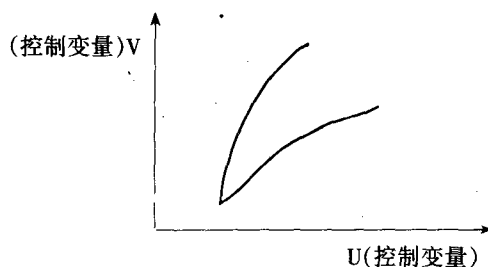
蝴蝶型突变（控制参数为4）

双曲型突变（控制参数为3）

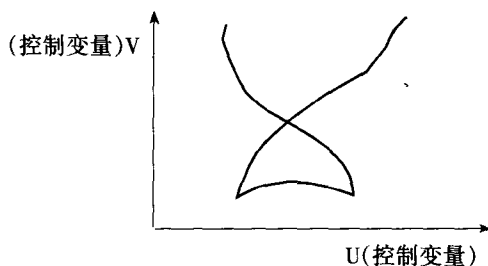
椭圆型突变（控制参数为3）

抛物型突变（控制参数为4）

由于这七种突变类型都是用拓扑数学图形来表示的（如图五6和图五7），一般读者较难理解，故此不再详释。



图五6 尖点型突变



图五7 燕尾型突变

总之，突变论的创立使得人们对突变这种普遍存在的现象认识得更全面、也更深刻了。

二、突变论的应用

目前，突变论的应用还是初步的。除了在自组织现象研究方面的应用以外（由于系统的自组织过程包含着从一种状态向另一种状态突变的过程，因而突

变论所揭示的上述突变特征, 同样适用于自组织现象的过程), 在物理学方面, 突变论还被用来研究系统相变和弹性梁的弯曲状态、描述液波的传导、曲面面积最小化、非线性振动以及流体力学等问题。在生物学方面, 科学家已开始用突变论建立心跳的数学模型, 研究刺激在神经内的传播, 原肠胚的形成, 胚胎中体节的形成, 细胞分裂等。在社会科学方面, 国外有人运用突变论做过战争预测研究和语言学研究, 但研究成果尚不明显, 国内亦有学者试图把突变理论与社会控制结合起来, 并提出对社会系统实现高层次有效控制的四种方法: 第一, 由稳定状态控制变为超稳定状态控制; 第二, 由状态控制变为演化过程控制; 第三, 由消极控制变为积极控制; 第四, 由单调控制变为迂回控制,^[1] 等等。总之, 突变论在目前的应用尚不够广泛, 亦尚未取得显著成果。然而, 突变现象既然是客观世界中普遍存在的现象, 则揭示这种现象机制的理论——突变论, 就一定会愈来愈受到人们的普遍重视和实际应用的, 这正如著名数学家斯图尔特在对突变论的评析中所指出的: 突变论“还需要加以发展、检验、修改, 经历一般成为可靠的科学工具的全过程。但我毫不怀疑, 突变理论已站住脚跟。”

第五节 自组织系统方法概述

自组织系统理论的创立无论对社会生产活动, 还是对于社会关系活动以及科学实验活动, 均具有重要方法论意义。但由于该理论目前仍处在发展阶段, 加之内容的艰深, 至今未能获得广泛应用。但是, 既然自组织系统是普遍存在于自然、社会和思维之中的系统, 因而反映其形成机制和发展变化的规律的理论与方法也就必然是具有普遍可应用性的。下面, 作者拟在前面三节内容的基础上, 对自组织系统理论中的方法做一下概括和总结, 并试以现代管理为例加以说明。

一、开放性原则

开放性是自组织系统形成的基本条件之一。系统只有在开放状态下, 才能不断与环境进行物质、能量、信息交换活动, 以建立、维持和发展自己的组织性。例如, 自由竞争条件下的企业是一种自组织系统, 它要维持正常的生产秩序(组织), 就必须不断从环境中引进材料、能源、人才和技术, 同时将生产

[1] 沈骊天: “突变理论与社会控制”, 见 1987 年 2 月 10 日《人民日报》。

出来的产品不断销售出去，一旦开放受阻，企业就会陷入混乱。又如，我们欲建立一个现代管理系统（管理或企业管理等）也必须采取开放方针：第一，其管理队伍应不断进行成员更新，以便把那些不称职的管理者清除出去，同时把群众中德才兼备的管理人才及时吸收到管理者队伍中来。第二，应注意不断从环境中引进各种先进管理手段和设备（如计算机、复印机、通信设备等），并及时更新原有的管理手段和设备。第三，管理者亦应不断从环境中获取各种信息（诸如市场信息、政策信息以及自然信息等），以便不断做出调整管理决策，使管理行为不断适应新的环境要求。实践表明，建立相对稳定的开放性管理系统乃是保证管理水平不断提高的必要条件。

二、远离平衡态原则

远离平衡态是自组织系统形成的又一必要条件，因而我们欲建立高度有效的现代管理系统，亦必须遵循之。

首先，组建现代管理系统必须遵循远离平衡态原则。这也就是说，构成管理系统的人员必须具有各不相同的能力和水平，尤其是作为管理系统的第一把手应具备把握全局的能力和权力，而其他成员则不必具备把握全局的能力和权力，或只需具备把握某一方面全局的能力和权力即可。如果一个管理系统的所有成员在能力、权力和专业知识方面相差无几，则势必出现互相扯皮、议而不决的局面，从而影响管理者系统功能的发挥。

其次，管理者在实施管理的过程中，也必须注意远离平衡态原则。例如，对于表现好的被管理职工给予突出的精神奖励和物质奖励，而对于表现不好的职工则给予一定形式的批评甚至惩罚。只有实行这种奖惩严明的管理方法，才能充分调动广大被管理者的工作积极性和主动性，在整个系统中造成一种争先、促后进的良好风气，使整个系统正常运行和健康发展。相反，如果采取干多干少一个样，干好干坏一个样，甚至干与不干一个样的管理方法，则势必造成整个系统的停滞、混乱和死亡。

三、非线性原则

非线性机制是自组织系统形成的又一基本条件，因而在建立现代管理系统时也是必须遵循的。

首先，作为自管理系统应该是一个非线性系统。就是说，构成管理系统的成员之间必须能够依一定规则或程序而相互制约和相互监督，这样才能使该系统的每一个成员（包括第一把手）不至于做出超越管理权限的行为而破坏组织性。目前，有些单位的管理者，特别是主要管理者之所以会发生贪污腐败行

为,一个重要原因是系统成员之间缺少这种相互制约和监督的机制,结果使掌握大权的主要管理者可以不受任何约束地为所欲为,使整个管理者系统的正常结构与功能遭到破坏。

其次,就管理过程而言,亦应建立这种非线性管理机制。一方面,管理者有权指挥、督促、推动被管理者,被管理者必须服从管理者的指挥和调动;另一方面,被管理者亦应有权监督管理者,以防止超越管理权限而作为。在现代管理中,有所谓直线式(纵向式)管理、职能式管理、直线职能式管理、事业部式管理、矩阵式管理之分,其中直线式管理可视为线性管理,在这种管理方式中,“主管人员容易独断专行,容易产生主观主义、命令主义”。^[1]而其他管理形式则可视为非线性管理的基础,只是需要加上相互监督的机制罢了。

四、协同原则

协同性质则是自组织系统的又一基本原则。把它应用到自组织管理中主要应注意两个方面:其一是建立相互协同的管理者系统。这种协同既包括管理者系统内各个层次之间的协同(纵向协同),亦包括管理者系统内各个成员之间的协调(横向协同),只有建立起这种协同机制,不同层次、不同部门的管理者之间才能真正形成一个结构合理、功能可以得到充分发挥的有机整体。

以我国2003年春天的抗“非典”战役为例:本来在科研攻关方面我们应走在世界前面,因为从科研条件来说,我们是独一无二的:不仅第一个非典病例在年初出现在我国,而且以后又有大量病例可供研究。可是由于我国各医学科研部门缺少相互协同:有科研条件的拿不到病毒资源,而能拿到病毒资源的部门却没有研究条件,结果是我们在病毒确定、诊断试剂、病毒测序等方面都落在了外国同行的后面,使得“中国科技界在非典科技攻关中整体打了败仗”。^[2]

其二是管理和被管理者之间的相互协同。事实说明,只有管理者和被管理者之间目标一致、相互支持、协同动作,管理过程才能正常展开,如果管理者和被管理者之间互相掣肘,有令不行,有禁不止,甚至上有政策,下有对策,这样的管理是不可能获得成功的。

五、涨落原则

在自组织管理过程中,由于存在内部和外部因素的干扰,管理过程必然会

[1] 刘熙瑞主编:《现代管理学基础》,高等教育出版社1991年版,第134页。

[2] 《光明日报》2003年7月11日科技版。

出现涨落。当系统内外有利因素居于主要地位、对管理过程起主要作用时，管理便向着有利于达到目标的方向发展（涨），而当系统内外不利因素占据主要地位，对管理过程起主要作用时，则管理便向着背离目标的方向发展（落）。因此，在管理过程中，管理者应努力利用并创造条件，使管理过程向着有利于目标的方向发展，而防止出现相反的情况。当然，为了使管理过程稳定地达到目标，应尽量防止涨落，至少应努力防止那种造成管理失控的巨涨落情况出现。例如在宏观经济管理中，我们应努力保持其发展的均衡性，而防止增长过热，因为过热的结果必然是过冷，就像泡沫经济达到极限之后，就会出现急剧下降和萧条一样。

六、突变原则

所谓突变原则在自组织管理中主要表现为由一种管理模式过渡到另一种管理模式。例如，由计划经济管理模式向市场经济管理模式的转变就是一种突变，由平时管理模式向战时管理模式的转变也是一种突变。实际情况表明，当一种管理模式的功能已经发挥殆尽的时候，要继续推进系统的发展并达到新目标，就必须及时地实行管理模式的突变。

由于突变是系统由稳态→非稳态→新稳态的非连续过程，而突变结果又带有随机性，因而在实现管理模式突变时，应注意把握非稳态的状况，在该种状态出现时，应做好充分准备，并创造条件使系统向新的有利于人的需要的稳态突变，从而使管理上升到一个崭新水平并尽快稳定下来。例如，我国目前对国有企业的管理便处在非稳态之中：一方面，传统管理方式仍未完全废止；另一方面，市场经济的管理方式亦在使用，从而使管理处于一种混和状态，我们一定要积极创造条件，尽快把对国有企业的计划管理推上市场管理的轨道，并尽快使其稳定下来。

以上我们列举了自组织理论与方法在建立现代管理系统中的应用。实际可应用的理论与方法当然不只是这七个方面，应用的对象也不限于组织管理系统。随着自组织理论的进一步发展和完善及其原理和方法的进一步普及，自组织理论必将在现代管理实践中发挥出愈来愈大的作用。

参考书目

1. 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社 1971 年版。
2. 《列宁选集》，第 2 卷，人民出版社 1995 年版。
3. 列宁：《哲学笔记》，人民出版社 1974 年版。
4. 北京大学哲学系编译：《古希腊罗马哲学》，三联书店 1957 年版。
5. 北京大学哲学系编译：《十六—十八世纪西欧各国哲学》，三联书店 1958 年版。
6. 黑格尔：《小逻辑》，贺麟译，商务印书馆 1980 年版。
7. 任继愈：《中国哲学史》，第 1 册，人民出版社 1979 年版。
8. 《科学学译文集》，科学出版社 1980 年版。
9. 胡文耕：《分子生物学中的哲学问题》，天津人民出版社 1982 年版。
10. [美] 冯·贝塔朗菲：《一般系统论基础发展和应用》，清华大学出版社 1987 年版。
11. 魏宏森：《系统理论及其哲学思考》，清华大学出版社 1988 年版。
12. 《系统理论中的科学方法与哲学问题》，清华大学出版社 1984 年版。
13. 陈良瑾：《哲学与现代自然科学》，内蒙古人民出版社 1981 年版。
14. 曾广容等：《系统论控制论信息论概要》，中南工业大学出版社 1986 年版。
15. 王雨田：《控制论信息论系统科学与哲学》，中国人民大学出版社 1988 年版。
16. 袁运开主编：《自然科学方法研究（Ⅱ）》，华东师范大学出版社 1990 年版。
17. 魏宏森、曾国屏著：《系统论》，清华大学出版社 1995 年版。
18. 许国志主编：《系统科学大辞典》，云南科学技术出版社 1994 年版。
19. 许国志等主编：《系统科学》，上海科技教育出版社 2000 年版。
20. 沈祿赓：《系统科学概要》，北京广播学院出版社 2000 年版。
21. 《马克思恩格斯选集》：第 1、3、4 卷，人民出版社 1995 年版。

22. 《毛泽东选集》：第1卷，人民出版社1991年版。
23. 钱学森等著：《系统科学方法论导论》，人民出版社1983年版。
24. 中共中央组织部等：《迎接新的技术革命》，湖南科学技术出版社1984年版。
25. 中国社会科学院研究生院：《论现代自然科学和社会科学的结合》，湖南人民出版社1986年版。
26. 中国科协普及部：《系统工程普及讲座汇编》，1980年印。
27. 《全国“复杂性 with 系统科学哲学研究会”成立大会》论文集，华南师范大学2001年12月印。
28. 钱学森等著：《论系统工程》，湖南科学技术出版社1982年版。
29. 顾基发等著：《领导与系统工程》，山东人民出版社1986年版。
30. 沈昌泰主编：《系统工程》，浙江教育出版社1986年版。
31. 刘龄德、夏国平编著：《系统工程基础》，中央广播电视大学出版社1985年版。
32. 《运筹学通论》，中国人民大学出版社1987年版。
33. 《施工组织与管理》，四川科学技术出版社1986年版。
34. 《系统工程普及及讲座汇编》上下册，中国科协普及部1980年印。
35. 金允汶编著：《科学管理与系统工程》，知识出版社1989年版。
36. 刘熙瑞主编：《现代管理学基础》，高等教育出版社1991年版。
37. 张延欣等编著：《系统工程学》，气象出版社1997年版。
38. 汪树玉、刘国华等编著：《系统分析》，浙江大学出版社2002年版。
39. 董肇君等编著：《系统工程与运筹学》，国防工业出版社2003年版。
40. 松鹰著：《电子科学发明家》，中国青年出版社1981年版。
41. 张理编著：《中文电报译码机》，人民邮电出版社1982年版。
42. 鲁晨光著：《广义信息论》，中国科学技术大学出版社1993年版。
43. 程明、朱筱著：《信息论讲座》，科学普及出版社1994年版。
44. 杨岭编著：《通信漫话》，重庆出版社1987年版。
45. 姚琮著：《新技术革命对世界的影响》，科学普及出版社1984年版。
46. 曹志刚、钱亚生：《现代通信原理》，清华大学出版社1992年版。
47. 钟义信著：《信息科学原理》，北京邮电大学出版社1996年版。
48. 温熙森主编：《高科技知识读本》，国防科技大学出版社2000年版。
49. 王信领著：《当代高新科技知识》（干部读本），中国发展出版社2003年版。
50. 吕新奎主编：《中国信息化》，电子工业出版社2002年版。

51. [美] 维纳著:《控制论》,科学出版社 1985 年版。
52. [苏] 尼·伊·茹科夫著:《控制论的哲学原理》,上海译文出版社 1981 年版。
53. [德] G·克劳斯著、梁志学译:《从哲学看控制论》,中国社会科学出版社 1981 年版。
54. 马丽扬编著:《系统论信息论控制论通俗讲话》,河北人民出版社 1987 年版。
55. 沈骊天著:《系统信息控制科学原理》,南京大学出版社 1987 年版。
56. 涂序彦等著:《生物控制论》,科学出版社 1980 年版。
57. 钱学森、宋健:《〈工程控制论〉序》,科学出版社 1980 年版。
58. 邓聚龙:《灰色控制系统》,华中工学院出版社 1985 年版。
59. 张玉志、魏宏森著:《人工智能与社会进步》,吉林教育出版社 1990 年版。
60. 刘俊生著:《现代管理理论与方法》,中国政法大学出版社 1995 年版。
61. [德] H·哈肯著:《协同学》,原子能出版社 1984 年版。
62. 李如生编著:《非平衡态热力学和耗散结构》,清华大学出版社 1986 年版。
63. 曾广容等编:《系统论控制论信息论概要》,中南工业大学出版社 1986 年版。
64. 《控制论和科学方法论》,科学普及出版社 1983 年版。
65. 《论现代自然科学和社会科学的结合》,湖南人民出版社 1986 年版。
66. 魏宏森、肖广岭主编:《系统科学与市场经济》,清华大学出版社 1996 年版。